



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PLANIFICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE
EDIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA METÁLICA DE ACERO**

David Antonio Salguero Estrada

Asesorado por el Ing. Julio Roberto Escobedo Romero

Guatemala, abril de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANIFICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE
EDIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA METÁLICA DE ACERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DAVID ANTONIO SALGUERO ESTRADA

ASESORADO POR EL ING. JULIO ROBERTO ESCOBEDO ROMERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL I | |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos |
| VOCAL V | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|----------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADORA | Inga. María del Mar Girón Pérez |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Fuentes Roca |
| EXAMINADOR | Ing. Juan Carlos Linares Cruz |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PLANIFICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA METÁLICA DE ACERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 18 de octubre del 2013.



David Antonio Salguero Estrada

Guatemala, 14 de noviembre de 2014

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Coordinador del área de planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Wuillian Yon:

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación, **“PLANIFICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA METÁLICA DE ACERO”**, elaborado por el estudiante David Antonio Salguero Estrada, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular, me despido.

Atentamente,



Julio Roberto Escobedo Romero

Colegiado No. 6594

Ing. Julio R. Escobedo
Colegiado No. 6594



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
9 de abril de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PLANIFICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA METÁLICA DE ACERO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil David Antonio Salguero Estrada, quien contó con la asesoría del Ing. Julio Roberto Escobedo Romero.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE PLANEAMIENTO
USAC

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Jefe Del Departamento de Planeamiento

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





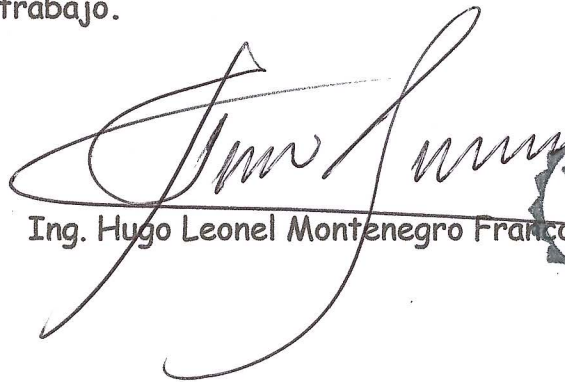
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio Roberto Escobedo Romero y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante David Antonio Salguero Estrada, titulado PLANIFICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA METÁLICA DE ACERO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 178.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PLANIFICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA METÁLICA DE ACERO**, presentado por el estudiante universitario: **David Antonio Salguero Estrada**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 23 de abril de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por cada oportunidad que me ha dado en la vida.
- Mis padres** Irma Consuelo Estrada González y Nery David Salguero Vivar (q.e.p.d.), por darme más de lo necesario y formar parte de las decisiones con determinación de mi vida. Rolando de Paz gracias por ser como un padre.
- Mis hermanas** Consuelo y Alison Salguero, por ser apoyo incondicional a lo largo de mi vida.
- Mis amigos** Por cada buen momento y cada aporte en mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser fuente de altruismo y conciencia para los guatemaltecos. |
| Facultad de Ingeniería | Por ser plataforma de superación personal. |
| Aceros Nabla | Por la oportunidad y el apoyo prestado. |
| Ing. Julio Escobedo | Por la orientación, su tiempo y aportes. |
| Ing. Erick Quan Luna | Por su colaboración, experiencia, tiempo y apoyo. |
| Ing. Gerardo Lobos | Por su colaboración, aporte y apoyo. |
| Eduardo Andrade | Por el apoyo prestado. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| | |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| | |
| 3. RESEÑA GENERAL DESCRIPTIVA..... | 5 |
| 3.1. Inicios en la historia de las estructuras metálicas en la construcción | 5 |
| 3.2. Evolución del acero como material de construcción | 5 |
| 3.3. Tipos de aleaciones y clases de acero | 6 |
| 3.3.1. Propiedades físicas del acero | 8 |
| 3.3.2. Propiedades mecánicas del acero | 10 |
| 3.4. Perfiles de acero y sus variedades | 11 |
| 3.4.1. Perfiles para vigas y columnas | 13 |
| 3.5. Juntas y conexiones para estructuras de acero | 15 |
| 3.5.1. Soldaduras..... | 17 |
| 3.5.2. Conexiones pernadas..... | 19 |
| 3.5.2.1. Pernos calificados para conexiones..... | 19 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.5.3. | Fallas que pueden ocurrir en las estructuras, juntas y conexiones | 21 |
| 3.6. | Tipos de acabados para estructuras de acero | 22 |
| 3.7. | Reseña de la planificación y dirección de proyectos de estructuras metálicas de acero..... | 23 |
| 4. | INICIACIÓN DE GESTIÓN PARA PROYECTOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE ACERO | 25 |
| 4.1. | Desarrollar el acta de constitución | 25 |
| 4.2. | Identificar los interesados..... | 26 |
| 5. | PLANEAMIENTO | 29 |
| 5.1. | Desarrollar el plan para la dirección del proyecto..... | 29 |
| 5.2. | Definir el alcance..... | 30 |
| 5.2.1. | Reunir requisitos | 31 |
| 5.2.2. | Crear la estructura de desglose del trabajo (EDT) .. | 31 |
| 5.3. | Tiempo del proyecto..... | 36 |
| 5.3.1. | Definir las actividades..... | 37 |
| 5.3.2. | Secuenciar las actividades | 40 |
| 5.3.3. | Estimar los recursos para las actividades | 42 |
| 5.3.4. | Estimar la duración de las actividades | 44 |
| 5.3.5. | Desarrollar el cronograma | 46 |
| 5.4. | Gestión de costos..... | 48 |
| 5.4.1. | Estimar los costos | 49 |
| 5.4.2. | Determinar el presupuesto | 57 |
| 5.5. | Planificar la calidad | 57 |
| 5.6. | Desarrollar el plan de recursos humanos..... | 59 |
| 5.7. | Planificar las comunicaciones | 63 |
| 5.8. | Planificar la gestión de riesgos..... | 66 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 5.8.1. | Identificar los riesgos | 68 |
| 5.8.2. | Realizar análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos | 69 |
| 5.8.2.1. | Análisis cualitativo de riesgos | 69 |
| 5.8.2.2. | Análisis cuantitativo de riesgos..... | 70 |
| 5.8.3. | Plan de respuesta..... | 73 |
| 5.9. | Gestión de impacto ambiental | 73 |
| 5.9.1. | Diagnóstico..... | 74 |
| 5.9.2. | Pronóstico..... | 76 |
| 5.9.3. | Evaluación del impacto ambiental | 76 |
| 5.10. | Planificar las adquisiciones..... | 78 |
| 6. | EJECUCIÓN..... | 79 |
| 6.1. | Dirigir y gestionar la ejecución del proyecto | 79 |
| 6.2. | Realizar el aseguramiento de calidad..... | 81 |
| 6.3. | Adquirir el equipo del proyecto | 84 |
| 6.3.1. | Desarrollar el equipo del proyecto | 85 |
| 6.3.2. | Gestionar o dirigir el equipo del proyecto | 88 |
| 6.4. | Distribuir la información | 89 |
| 6.5. | Efectuar las adquisiciones | 92 |
| 7. | MONITOREO Y CONTROL | 93 |
| 7.1. | Monitorear y controlar el trabajo del proyecto..... | 93 |
| 7.2. | Realizar control integrado de cambios..... | 93 |
| 7.3. | Verificar y controlar el alcance..... | 95 |
| 7.4. | Controlar el cronograma | 95 |
| 7.5. | Controlar los costos | 96 |
| 7.6. | Realizar el control de calidad..... | 99 |
| 7.7. | Informar el desempeño | 100 |

| | | |
|------|--------------------------------------|-----|
| 7.8. | Monitorear y controlar riesgos | 101 |
| 7.9. | Administrar las adquisiciones | 101 |
| 8. | CIERRE DEL PROYECTO | 103 |
| 8.1. | Cierre de fase del proyecto | 103 |
| 8.2. | Cerrar adquisiciones | 103 |
| | CONCLUSIONES | 105 |
| | RECOMENDACIONES | 109 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 111 |
| | ANEXOS | 113 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Perfiles laminados de acero | 12 |
| 2. | Tipos de miembros a compresión | 15 |
| 3. | Proceso de soldadura manual con electrodo revestido | 18 |
| 4. | Posibles modo de falla en uniones empernadas | 22 |
| 5. | EDT para el planeamiento de estructuras metálicas de acero | 32 |
| 6. | EDT para el planeamiento de fases de dibujo de estructuras | 33 |
| 7. | EDT para el planeamiento de fases de fabricación de estructura metálica herrería | 34 |
| 8. | EDT para el planeamiento de fases de montaje de estructura..... | 35 |
| 9. | Planificación de tiempo de proyecto | 36 |
| 10. | Ejemplo de cronograma para un proyecto de estructuras metálicas de acero | 47 |
| 11. | Diagrama de planificación de recurso humano | 61 |
| 12. | Organización orientada a proyectos | 79 |
| 13. | Dirigir y gestionar: entrada, herramientas y técnicas, salidas..... | 80 |
| 14. | Sistema de aseguramiento de calidad para proyectos de edificaciones de estructuras metálicas de acero | 81 |
| 15. | Proceso de montaje de estructuras metálicas de acero en campo | 82 |
| 16. | <i>Balanced scorecard</i> para montaje en estructuras metálicas de acero | 89 |
| 17. | Diagrama de Flujo para control integrado a cambios en el proyecto.... | 94 |
| 18. | Control de cronograma del montaje de una estructura | 95 |
| 19. | Gráfica de valor ganado, valor planificado y costos reales | 97 |

TABLAS

| | | |
|-------|--|----|
| I. | Propiedades de aceros estructurales..... | 7 |
| II. | Tornillos de alta resistencia..... | 20 |
| III. | Interesados externos e internos para proyectos de estructuras metálicas..... | 27 |
| IV. | Listado de actividades y atribuciones | 38 |
| V. | Listado de hitos para montar la estructura..... | 39 |
| VI. | Listado recursos por categorías..... | 42 |
| VII. | Información a recibir y transmitir entre interesados | 64 |
| VIII. | Definición de escalas de impacto para cuatro objetivos de un proyecto en estructuras metálicas | 67 |
| IX. | Riesgos identificados de impacto para proyectos en estructuras metálicas..... | 68 |
| X. | Riesgos identificados de impacto cualitativo para cuatro objetivos de proyectos en estructuras metálicas..... | 69 |
| XI. | Riesgos identificados de impacto cuantitativo para cuatro objetivos de proyectos en estructuras metálicas..... | 72 |
| XII. | Matriz de identificación y valoración de impactos | 77 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|-----------------------------|
| Cm | Centímetro |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| °C | Grados Celsius |
| hr | Horas |
| kg | Kilogramo |
| Kip | Kilo libra |
| ksi | Kilo libra/pulgada cuadrada |
| psi | Libras/pulgada cuadrada |
| ml | Metro lineal |
| plg | Pulgadas |
| f'y | Punto o límite de fluencia |
| σ_t | Resistencia a la tracción |
| fu | Resistencia última |
| ton | Tonelada |

GLOSARIO

| | |
|-------------------|--|
| AISC | Instituto Americano de Construcciones de Acero (American Institute of Steel Construction). |
| Aleado | De aleación, mezcla homogénea, de propiedades metálicas, está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal. |
| Alotrópica | Transformaciones que implican cambio en el sistema cristalino del metal o aleación. |
| AS Build | Planos de actividades constructivas conforme a obra. |
| ASCE/SE | Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers). |
| ASTM | Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (American Society of Testing Materials). |
| AWS | Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society). |
| Breiza | Pieza de acero recortada de tal medida que se coloca de forma inclinada, sirve de soporte entre vigas y columnas. |

| | |
|-------------------|---|
| CAD | Diseño asistido por computadora (<i>Computer-aided design</i>). |
| CSP | Código de buenas prácticas en estructuras de acero (Code of Standard Practice). |
| Ductilidad | Propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas que les permite bajo la acción de una fuerza deformarse sosteniblemente sin romperse. |
| Dureza | Oposición que ofrecen los materiales a la penetración, la abrasión, el rayado y la cortadura. |
| EDT | Estructura de desglose de trabajo |
| Fragilidad | Característica del acero, relacionada con su dureza y que se define como la capacidad de un material de fracturarse con escasa deformación. |
| Hito | Es un punto de referencia que marca un evento importante de un proyecto y se usa para supervisar el progreso del proyecto. |
| Lift Plan | Plan de elevación para la gestión de grúas con tonelaje específico, piloto certificado, radio de giro y altura máxima. |

| | |
|---------------------|---|
| Metal deck | Lámina de acero estructural galvanizada que hace las veces de formaleta. |
| PQR | Registro de calificación de procesos de soldadura (Procedure Qualification Record). |
| RFI | Solicitud de información (Request for Information). |
| RFQ | Solicitud de oferta o cotización (Request for Quotation). |
| SMAW | Soldadura manual de metal por arco (Shielded Metal Arc Welding). |
| Soldabilidad | Medida de la capacidad de un metal para ser soldado con éxito. |
| SSPC | Consejo de Pintura en Estructuras de Acero (Steel Structures Painting Council). |
| Templable | Capacidad de admitir temple o crear estructuras frágiles. |
| Tenacidad | Capacidad de un material de absorber energía antes de alcanzar la rotura. |
| WPS | Especificaciones de procedimientos de soldadura (Welding Procedure Specification). |

RESUMEN

En el presente estudio se realiza un análisis general de la planificación para la gestión de proyectos de edificaciones de infraestructura metálica de acero, mediante los conceptos de dirección, gestión, administración de proyectos del Project Management Body of Knowledge (PMBOK), herramientas, técnicas y criterios, los cuales se explican de forma simple; partiendo de los fundamentos básicos del acero y su características materiales, hasta llegar a los procesos generales para dirigir proyectos de estructuras metálicas de acero en el sector privado y parte del Estado.

También se definen las cinco etapas de dirección de proyectos para las líneas base de alcance, tiempo, costo y calidad. Definiendo cómo planificar, ejecutar y controlar cada una de ellas en las áreas, según la estructura de desglose de trabajo que sea implementada, iniciando desde la solicitud del cliente y sus especificaciones. Explicando el alcance, planificando el tiempo, determinando el presupuesto de ejecución y el recurso humano necesario para la ejecución. Estipular las formas de comunicaciones de los entregables, definir y controlar la calidad de materiales, mano de obra y procesos de montaje. Identificar los riesgos, medir el impacto ambiental del proyecto, hasta el cierre de adquisiciones y entrega del proyecto.

Asimismo, algunas herramientas de comunicaciones, control de calidad y buenas prácticas de construcción de estructuras metálicas de acero.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer la metodología a seguir en construcciones de edificaciones, utilizando estructuras metálicas de acero.

Específicos

1. Presentar material que pueda y deba ser usado por el sector público y privado.
2. Mostrar cómo se presenta la dirección de proyectos para los procesos de planificación, aspectos del alcance, tiempo, costos, calidad, comunicación, riesgos, enfocados a edificaciones de estructura metálica de acero.
3. Dar a conocer los procesos de estudio del impacto ambiental y mitigación de impacto negativo en el ambiente, para edificaciones de estructuras metálicas de acero.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, los primeros aceros provienen del este de África, (1 400 AC). Asimismo, en la China antigua por varias dinastías entre los 200 AC. Este metal ha ido evolucionando en el mundo por las diversas técnicas de fabricación y forjado. Es por ello que en muchas regiones, el acero es de gran importancia para la dinámica de la población, industria y comercio.

Las edificaciones hechas de estructura metálica, generalmente van diseñadas con acero, material versátil debido a su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación, mayor duración, comportamiento elástico y capacidad de deformación inelástica. Esto ha ido evolucionando en la creación de nuevos proyectos de estructuras, como puentes de grandes claros, edificios altos y estructuras de torres de comunicación.

Los proyectos de estructuras metálicas llevan un proceso de gestión en su integración. Definen los procesos y actividades que componen diversos elementos de la dirección del proyecto. Incluyen el trabajo requerido para complementarlo exitosamente, donde la gestión de costos involucra el planificar, estimar, presupuestar y controlar, garantizando la calidad de obra. Son de suma importancia la identificación, el análisis y control de riesgos, ya que son factores impredecibles en el ciclo de un proyecto para que la conclusión o cierre del mismo se realice a tiempo.

1. ANTECEDENTES

En Guatemala, la planificación de proyectos en edificaciones con estructuras metálicas de acero se ha implementado en algunas empresas de forma empírica, es decir, a juicio de expertos. Por lo tanto, la gestión incurre en muchos riesgos y pérdidas monetarias por no contar con el conocimiento de dirección de proyectos. No se habla de una forma errada, sino de procesos desordenados y falta de aprendizaje, desde los materiales, el uso o aplicación y sus comportamientos; especificaciones de códigos no respetadas, tanto de diseño estructural como de procesos de mano de obra no calificada en fabricación con soldadura; deficiente administración del presupuesto asignado al supervisor de campo, órdenes de cambio de forma inoportuna, las formas de transmitir y recibir información informal y poco entendible, entre otros.

Hay muchos antecedentes que muestran esta clase de proyectos, los cuales no siguen una línea base bien fundamentada para su dirección y éxito satisfactorio. No solamente del cliente, también para el prestigio de las empresas contratistas en este tipo de proyectos de ingeniería civil.

2. JUSTIFICACIÓN

- Por funcionalidad: las estructuras metálicas muestran una clara ventaja en seguridad, diseño, espacio, flexibilidad de modificación y reciclabilidad del material.
- La durabilidad: las estructuras metálicas tienen una gran ventaja, por su diseño y mantenimiento adecuado, el acero no cambia sus propiedades a través del tiempo.
- Costos: pueden variar dependiendo del uso o servicio del diseño estructural de la edificación y es más notoria conforme se incrementa el número de materiales.
- Tiempo: el trabajo en campo es únicamente montar la estructura y puede realizarse en un corto periodo.

3. RESEÑA GENERAL DESCRIPTIVA

3.1. Inicios en la historia de las estructuras metálicas en la construcción

No se tiene a ciencia cierta un indicio de la fecha exacta de la elaboración de los primeros aceros, pero se identifican productos elaborados con este metal en Egipto, año 3 000 A.C. Algunos de los primeros aceros provienen del este de África. Con el método de derretir hierro forjado junto con hierro fundido se obtiene el mejor producto de carbón intermedio: el acero.

Durante muchas décadas, los artesanos de hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, absorbiendo suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

En la historia del acero hay muchos métodos que fueron evolucionando, tras la Segunda Guerra Mundial se iniciaron experimentos en varios países con oxígeno puro en lugar de aire para los procesos de refinado del acero. El éxito se logró en Austria en 1948, cuando una fábrica de acero situada cerca de la ciudad de Linz. Donawitz desarrolló el proceso del oxígeno básico o L-D.

3.2. Evolución del acero como material de construcción

El uso intensivo que tiene y ha tenido el acero para la construcción de estructuras metálicas ha conocido grandes éxitos y rotundos fracasos, que al menos han permitido el avance de la ciencia de materiales. Así, el Iron Bridge, primer puente de hierro de la historia, se construyó en 1779, en la garganta del

Severn para unir la ciudad de Broseley con el pequeño pueblo minero de Madeley y el creciente centro industrial de Coalbrookdale. La Torre Eiffel, construida en París en 1889 es actualmente, uno de los monumentos más visitados del mundo. En 1940, el mundo asistió al colapso del puente Tacoma Narrows al entrar en resonancia con el viento.

Sin embargo, con el advenimiento de nuevas y mejores tecnologías se ha podido superar esta deficiencia, ya sea mediante la microfundición, fundición centrífuga, fundición modular, entre otros. El acero ha ido evolucionando en el mundo por las diversas técnicas de fabricación y forjado. Es por ello, que en muchas regiones del mundo, el acero es de gran importancia para la dinámica de la población, industria y comercio.

3.3. Tipos de aleaciones y clases de acero

Los aceros son aleaciones de hierro (Fe) y carbono (C) junto con varios elementos más. Suelen tener un contenido en carbono inferior al 1 por ciento en peso, pero para los aceros estructurales contienen menos de un 0,25 por ciento, casi un 0,4 por ciento de contenido de carbono equivalente.

Para los aceros de alta resistencia y baja aleación existe un gran número de este tipo, clasificados por la ASTM. Estos obtienen sus altas resistencias y otras propiedades por la adición; aparte del carbono y manganeso, de uno a más agentes aleantes como el columbio, vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros. Se incluyen aceros con esfuerzos de fluencia comprendidos entre 40 ksi y 70 ksi.

Estos, generalmente tienen mucha mayor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros al carbono. El término baja aleación se usa para

describir arbitrariamente aceros en los que el total de elementos aleantes no excede el 5 por ciento de la composición total.

Tabla I. **Propiedades de aceros estructurales**

| Designación de la ASTM | | Tipo de acero | Formas | Usos recomendados | Esfuerzo mínimo de fluencia, F_y , en ksi | Resistencia mínima especificada a la tensión, F_u , en ksi |
|------------------------|--|---|---|--|---|--|
| A36 | Al carbono | Perfiles, barras y placas | Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas o soldadas | 36, pero 32 si el espesor es mayor de 8 pulg | 58-80 | |
| A529 | Al carbono | Perfiles y placas hasta de ½ pulg | Similar al A36 | 42-50 | 60-100 | |
| A572 | Columbio-vanadio de alta resistencia y baja aleación | Perfiles, placas y barras hasta de 6 pulg | Construcción soldada o atornillada. No para puentes soldador con F_y grado 55 o mayor | 42-65 | 60-80 | |
| A242 | De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión | Perfiles, placas y barras hasta de 5 pulg | Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas; técnica de soldado muy importante | 42-50 | 63-70 | |
| A588 | De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica | Placas y barras de hasta 4 pulg | Construcción atornillada | 42-50 | 63-70 | |
| A852 | Aleación templada y revenida | Placas solo hasta de 4 pulg | Construcción soldada o atornillada, principalmente para puentes y edificios soldados. Proceso de soldadura de importancia fundamental | 70 | 90-110 | |
| A514 | Baja aleación templada y revenida | Placas solo de 2½ a 6 pulg | Estructura soldada con gran atención a la técnica; no se recomienda si la ductilidad es importante | 90-100 | 100-130 | |

Fuente: MCCORMAC, Jack C. *Diseño de estructuras de acero: método LRFD*. p. 20-21.

3.3.1. Propiedades físicas del acero

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen, sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: ferrita, cementita, perlita y martensita.

- Ferrita: blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución.
- Cementita: compuesto de hierro con el 7 % de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza.
- Perlita: es una profunda mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermedias entre las de sus dos componentes.
- Martensita: solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa, esta estructura es la obtenida a través del temple, aunque que se puede buscar en ciertas aplicaciones debido a su alta dureza.

La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8 por ciento de carbono, está por completo compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevarse la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en una forma alotrópica de aleación de hierro y carbono

conocida como austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal.

Si el acero se enfría despacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y perlita. Pero si el enfriamiento es repentino, la austenita se convierte en martensita, una modificación alotrópica de gran dureza similar a la ferrita pero con carbono en solución sólida.

Propiedad del acero:

$$4450 \text{ kg/cm}^2 \leq \text{Límite de fluencia (fy)} \leq 5100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Resistencia a la tracción: } \sigma_t \geq 6450 \text{ kg/cm}^2$$

Es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero, debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de $7\ 850 \text{ kg/m}^3$. En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de $1,510 \text{ }^\circ\text{C}$ en estado puro (sin alear). Sin embargo, el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de $1,375 \text{ }^\circ\text{C}$, y en general, la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que crece el porcentaje de carbono y de otros aleantes, (excepto las aleaciones auténticas que funden de golpe). Por

otra parte, el acero rápido funde a 1,650 °C. Su punto de ebullición es de alrededor de 3,000 °C.

3.3.2. Propiedades mecánicas del acero

- Tenacidad: la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto). El acero es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Ductilidad: es relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres. Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Se dilata y se contrae según un coeficiente de dilatación similar al coeficiente de dilatación del hormigón, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción.
- Maleable: se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lámina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor, recubierta, generalmente de forma electrolítica, por estaño.
- Resistencia al desgaste: es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- Maquinabilidad: la facilidad que posee un material que permitir el proceso de mecanizado. Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico (el temple que reduce la dureza y resistencia y aumenta la ductilidad y la tenacidad).

- Dureza: en los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos, entre los cuales, quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros.

3.4. Perfiles de acero y sus variedades

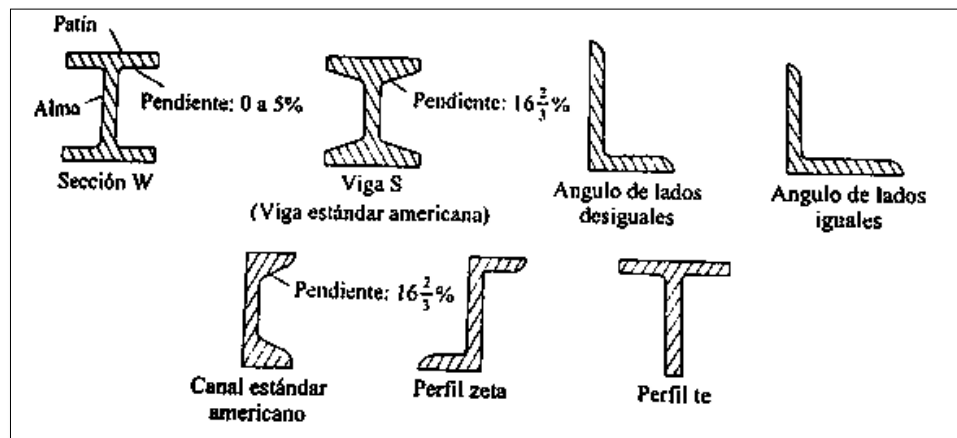
En la actualidad, casi todos los perfiles estructurales se encuentran estandarizados, aunque sus dimensiones exactas pueden variar un poco de laminadora a laminadora.

El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños, sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente, los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T y [tienen esta propiedad.

Por lo general, los perfiles de acero se designan por la forma de sus secciones transversales. Por ejemplo, se tienen perfiles en ángulo, tes, zetas y placas. Sin embargo, es necesario hacer una clara distinción entre las vigas estándar americanas (llamadas vigas S) y las vigas de patín ancho (llamadas vigas W), ya que ambas tienen la forma de I. La superficie interna del patín de una sección W es paralela a la superficie externa o bien, casi paralela a una pendiente máxima de 1 al 20 en el interior, dependiendo del fabricante.

Las vigas S, que fueron los primeros perfiles de vigas laminadas, tienen una pendiente de 1 a 6 en el interior de sus patines. Debe notarse que los espesores constantes o casi constantes de los patines de las vigas W, a diferencia de los patines ahusados de las vigas S, facilitan las conexiones. Los perfiles W y S se muestran en la figura 1, junto con otros perfiles comunes de acero.

Figura 1. **Perfiles laminados de acero**



Fuente: MCCORMAC, Jack C. *Diseño de estructuras de acero: método LRFD*. p. 9.

Los perfiles se denominan en forma abreviada por medio de un sistema descrito para su uso en planos, especificaciones y diseños. Este se encuentra estandarizado, de modo que todos los molinos de laminación puedan usar la misma nomenclatura para fines prácticos. Además, actualmente se procesa mucho trabajo en computadoras y otros equipos automatizados, por lo que es necesario tener un sistema a base de números y letras. Ejemplos de este sistema de abreviaturas son los siguientes:

- Una W27 x 114 es una sección W con 27 pulgadas aproximadamente de peralte y peso de 114 lb/pie.
- Una S12 x 35 es una sección S con 12 pulgadas de peralte y peso de 35 lb/pie.
- Una HP 12 x 74 es una sección usada como pilote de carga con 12 pulgadas, aproximadamente de peralte y peso de 74 lb/pie; estos perfiles tienen almas más gruesas que las W regulares para resistir mejor el impacto del incado. El ancho y la altura de estas secciones son aproximadamente iguales y sus patines y almas tienen espesores iguales o casi iguales.
- Una M8 x 6,5 es una sección con 8 pulgadas de peralte y peso de 6,5 lb/pie. Forma parte de un grupo de miembros estructurales tipo H con doble simetría que no puede clasificarse por sus dimensiones como W, S o HP.
- Una C10 x 30 es una canal con 10 pulgadas de peralte y peso de 30 lb/pie.
- Un L6 x 6 x ½ es un ángulo de lados iguales, cada uno de 6 pulgadas de longitud y ½ pulgadas de espesor.
- Una WT18 x 140 es una te que se obtiene al cortar en dos una W36 x 280. Este tipo de sección se conoce como te estructural.

3.4.1. Perfiles para vigas y columnas

Las vigas son miembros que soportan cargas transversales. Se usan, generalmente, en posición horizontal y quedan sujetas a cargas por gravedad o verticales.

Los perfiles W, comúnmente resultan las secciones más económicas al usarse como vigas y han reemplazado en esta aplicación casi por completo a

las canales y a las secciones S. Estos perfiles tienen un mayor porcentaje de acero concentrado en sus patines que las vigas S, por lo que componen mayores momentos de inercia y momentos resistentes para un mismo peso. Estos son relativamente anchos y tienen una rigidez lateral apreciable y tienen una rigidez lateral apreciable.

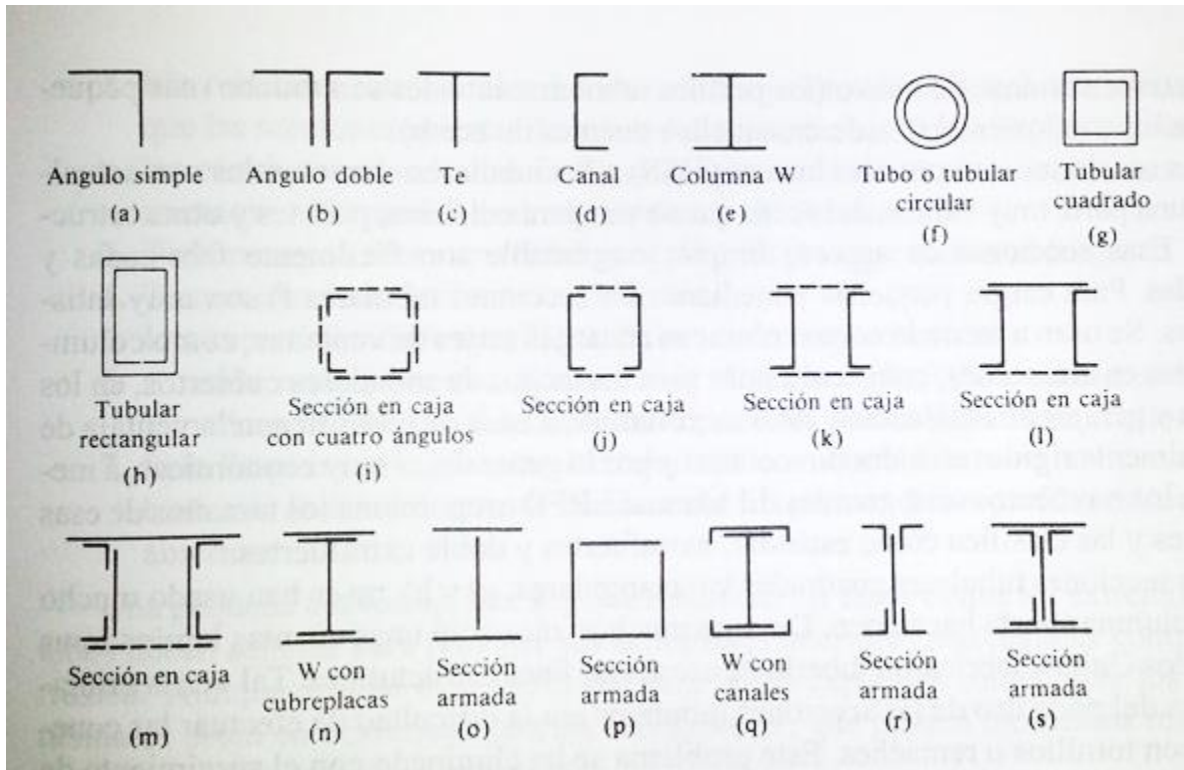
Pero por otra parte, para columnas en teoría pueden seleccionarse un sinfín de perfiles para resistir con seguridad una carga de compresión en una estructura dada. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, el número de soluciones posibles se ve limitado por el tipo de secciones disponibles, por problemas de conexión y el tipo de estructura en donde se usara la sección.

Las secciones utilizadas para miembros a compresión, por lo común son similares a las empleadas para miembros a tensión con ciertas excepciones. Las excepciones las causa el hecho de que las resistencias de los miembros a compresión varían en cierta relación inversa con las relaciones de esbeltez y se requieren entonces, miembros rígidos.

Los perfiles W son los más comunes para columnas de edificios y para los miembros a compresión de puentes carreteros. Aunque sus valores están lejos de ser iguales respecto a los dos ejes, están mejor balanceados que en las canales.

Las columnas a base de tubos tienen la ventaja de ser igualmente rígidas en todas direcciones y, por lo general son muy económicas, a menos que los momentos sean grandes.

Figura 2. Tipos de miembros a compresión



Fuente: MCCORMAC, Jack C. *Diseño de estructuras de acero: método Lrfd*. p. 131.

Quando se diseñan miembros a compresión para estructuras muy grandes puede ser necesario usar secciones armadas. En términos generales, un perfil sencillo tal como una sección W, es más económico que una sección armada que tenga la misma área en su sección transversal.

3.5. Juntas y conexiones para estructuras de acero

Las conexiones entre vigas y columnas son usadas comúnmente en los edificios de acero. En las especificaciones de acero actuales se permiten cuatro

tipos de sujetadores para esas conexiones. Estos son: la soldadura, los tornillos sin tornear, los tornillos de alta resistencia y los remaches.

La selección del tipo de sujetador o sujetadores que deben usarse para una estructura específica, implica la consideración de muchos factores entre los cuales cabe mencionar: requisitos de códigos locales de construcción, economía relativa, preferencias del proyectista, disponibilidad de buenos soldadores o remachadores, condiciones de carga (estática o de fatiga), preferencias del fabricante y equipo disponible. Es imposible dar un conjunto definido de reglas para seleccionar el mejor tipo de junta para una estructura dada cualquiera. Sin embargo, se puede hacer una serie de observaciones generales que ayuden a tomar una decisión. Estas son las siguientes:

- Los tornillos sin tornear resultan económicos para estructuras ligeras sometidas a cargas estáticas pequeñas y para miembros secundarios de estructuras pesadas.
- El atornillado en campo es muy rápido y requiere menos mano de obra especializada que la soldadura. Sin embargo, el costo de los tornillos de alta resistencia es un poco alto.
- Si a la larga se tiene que desmontar la estructura, probablemente la soldadura no deba considerarse, dejando el campo abierto a los tornillos.
- Cuando se tienen cargas de fatiga, los tornillos de alta resistencia completamente tensados y la soldadura ofrece un comportamiento muy bueno.
- La soldadura requiere la menor cantidad de acero, contribuye al mejor aspecto de las juntas y tiene la mayor amplitud de aplicaciones para los diferentes tipos de conexiones.

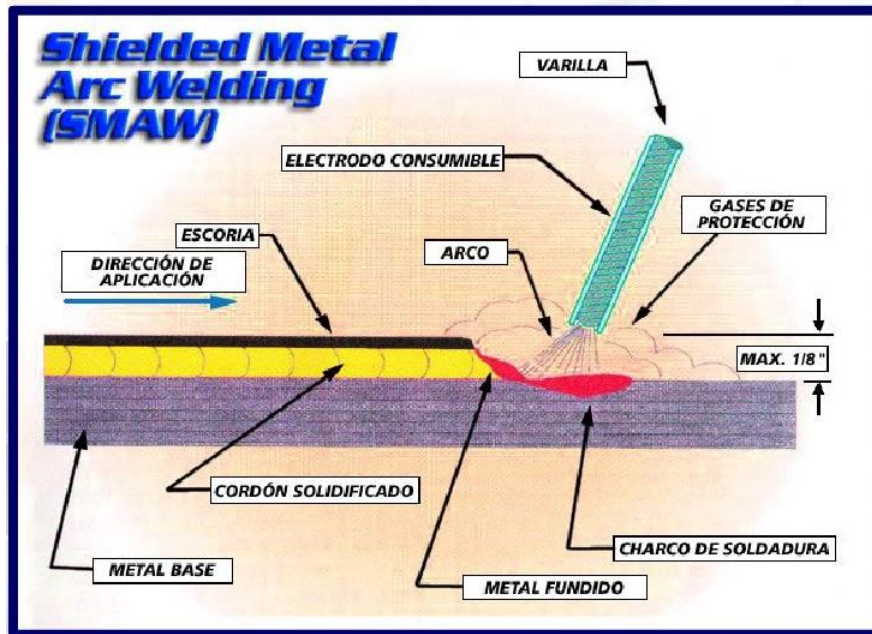
- Cuando se deseen juntas continuas, rígidas y resistentes a momentos, probablemente se escogerá la soldadura.
- La soldadura se acepta casi universalmente como satisfactoria para el trabajo en planta. Pero muchas veces es rechazada en trabajo en campo por el temor de que la supervisión de campo no sea totalmente confiable.
- El uso de soldadura en miembros muy gruesos requiere un cuidado especial por lo que en ocasiones es preferible usar conexiones atornilladas.

3.5.1. Soldaduras

Es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico, permitiendo que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de un metal fundido.

Actualmente es posible aprovechar las grandes ventajas que la soldadura ofrece, ya que los temores de fatiga e inspección se han eliminado casi por completo, las mejores técnicas utilizadas y los requerimientos para la mano de obra de las especificaciones de las SMAW (Shielded Metal Arc Welding), es un proceso más común y económico.

Figura 3. Proceso de soldadura manual con electrodo revestido



Fuente: SMAW, INFRA, air products. *Soldadura, proceso*. p. 68.

Existen tres clasificaciones para las soldaduras, mismas que se describen en la forma que se basan:

- Tipo de soldadura: los dos principales tipos son las soldaduras de filete y de ranura (penetración completa y parcial).
- Posición: las que se clasifican por posición en que se realizan como planas, horizontales, verticales y en la parte superior o sobrecabeza.
- Tipos de juntas: también se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de junta usada, a tope, traslapada, en te, de canto, en esquina, entre otros.

3.5.2. Conexiones pernadas

El montaje de estructuras de acero por medio de tornillos es un proceso que, además de ser muy rápido, requiere mano de obra menos especializada que cuando se trabaja con remaches o con soldadura, es sumamente económica a comparación de otros tipos de conexión. Aunque el costo de adquisición de un tornillo de alta resistencia es alto lo compensa la mano de obra y el equipo.

3.5.2.1. Pernos calificados para conexiones

Existen varios tipos de tonillos que pueden usarse para conectar miembros de acero como los ordinarios o comunes y los de alta resistencia.

Para los ordinarios o comunes los designa la ASTM como tonillos A307 y se fabrican con aceros al carbón con características de esfuerzos y deformaciones muy parecidas a la del acero A36. Se fabrican, generalmente con cabezas y tuercas cuadradas para reducir costos, pero las cabezas hexagonales se usan a veces porque tienen una apariencia atractiva, son fáciles de manipular con las llaves mecánicas y requieren menos espacio para girarlas. Están disponibles en diámetros que van de 5/8 hasta 1½ pulgadas en incrementos de 1/8 pulgadas.

Los de alta resistencia se fabrican a base de acero al carbono tratado térmicamente y aceros aleados; tienen resistencias a la tensión de dos o más veces la de los tornillos ordinarios. La ASTM los clasifica como dos tipos básicos, los A325 y los A490 de mayor resistencia, se usan para todo tipo de estructuras, desde pequeños edificios hasta rascacielos y puentes

monumentales. Estos tornillos pueden usarse también como pernos de anclaje de alta resistencia y para barras roscadas de diversos diámetros.

Tabla II. **Tornillos de alta resistencia**

| TENSIÓN (en klb) REQUERIDA EN LOS TORNILLOS PARA CONEXIONES SUJETAS A TENSIÓN DIRECTA* | | |
|---|----------------|----------------|
| Tamaño de tornillos (pulg) | Tornillos A325 | Tornillos A490 |
| 1/2 | 12 | 15 |
| 5/8 | 19 | 24 |
| 3/4 | 28 | 35 |
| 7/8 | 39 | 49 |
| 1 | 51 | 64 |
| 1 1/8 | 56 | 80 |
| 1 1/4 | 71 | 102 |
| 1 3/8 | 85 | 121 |
| 1 1/2 | 103 | 148 |

*Igual a 0.70 veces la resistencia mínima a la tensión de los tornillos, redondeada a Kip (klb) más cercano como se estipula en las Especificaciones ASTM para tornillos A325 y A490 con cuerdas UNC.

Fuente: MCCORMAC, Jack C. *Diseño de estructuras de acero: método LRFD*. p. 358.

3.5.3. Fallas que pueden ocurrir en las estructuras, juntas y conexiones

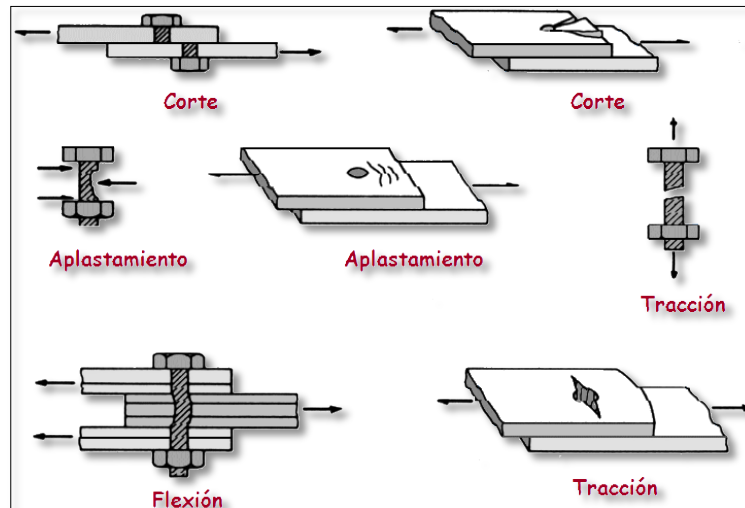
La gente supersticiosa prefiere no hablar sobre neumáticos desinflados o escribir su testamento por temor a tentar el destino. Esa misma gente probablemente no se preocuparía por analizar el tema de fallas en la ingeniería. Tal vez un estudio de fallas ocurridas en el pasado sea más importante que un estudio de éxitos.

El ingeniero con poca experiencia necesita saber a qué debe dársele la mayor atención y donde se quiere asesoría exterior. Las estructuras de acero rara vez falla debido a defectos del material más bien los hacen por su uso impropio.

Una falla frecuente se debe a después de diseñar cuidadosamente los miembros de una estructura, se le seleccionan en forma arbitraria conexiones que pueden no ser de suficiente tamaño.

Otra causa de fallas ocurre cuando las vigas soportadas sobre muros tienen un apoyo o anclaje insuficiente. Los asentamientos en las cimentaciones causan gran número de fallas estructurales, probablemente más que otro factor, estos no ocasionan desplomes en la estructura, pero si en el aspecto de grietas y depresión en el sistema.

Figura 4. Posibles modo de falla en uniones emperradas



Fuente: webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/08-conexionesApernadas/8-4.html.

Consulta: 12 de noviembre de 2014.

3.6. Tipos de acabados para estructuras de acero

Debido a la facilidad que tiene el acero para oxidarse cuando entra en contacto con la atmósfera o con el agua, es necesario y conveniente proteger la superficie de los componentes de acero para protegerles de la oxidación y corrosión.

Muchos tratamientos superficiales están muy relacionados con aspectos embellecedores y decorativos de los metales. Los tratamientos superficiales más usados son los siguientes:

- Cincado: tratamiento superficial antioxidante por proceso electrolítico o mecánico al que se somete a diferentes componentes metálicos.

- Cromado: recubrimiento superficial para proteger de la oxidación y embellecer.
- Galvanizado: tratamiento superficial que se da a la chapa de acero.
- Niquelado: baño de níquel con el que se protege un metal de la oxidación.
- Pavonado: tratamiento superficial que se da a piezas pequeñas de acero, como la tornillería.
- Pintura: usado especialmente en estructuras, automóviles, barcos, etc.

3.7. Reseña de la planificación y dirección de proyectos de estructuras metálicas de acero

Entender el contexto de los puntos tocados anteriormente contribuye a asegurar que el trabajo se lleve a cabo de acuerdo con los objetivos de la empresa, además, se gestione de conformidad con las metodologías de prácticas establecidas de la organización que trabaja con estructuras metálicas de acero. Lo anterior, es necesario para la gestión de otras consideraciones importantes de alto nivel, que incluyen la manera en que el proyecto fue planificado y la forma de ejecución del mismo.

4. INICIACIÓN DE GESTIÓN PARA PROYECTOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE ACERO

Cuando un proyecto se quiere llevar a cabo se transforma con base en las especificaciones y necesidades del cliente. Esto lleva a tener un poco de complejidad en los proyectos de estructuras metálicas, debido a la diferencia entre costos que hay con los de obra gris y entre otras cosas. Así como, el tipo de adquisiciones que son legales y contratos que existen para cualquier proyecto a ejecutar. Se toman en cuenta las necesidades mostradas por el cliente mostrándole un anteproyecto, el cual le mostrará un estimado del costo de la obra y un presupuesto, con base en los planos proporcionados por el cliente.

Antes de entrar a la planificación se define el alcance inicial y se comprometen los recursos financieros iniciales para la fianza de anticipo. Se identifican los interesados internos y externos que van a interactuar y ejercer alguna influencia sobre el resultado global del proyecto, también se seleccionará el director del proyecto. Esta información se plasma en el contrato del proyecto y registro de interesados. Cuando el contrato del proyecto recibe aprobación, el proyecto se considera autorizado oficialmente.

4.1. Desarrollar el acta de constitución

El contrato autoriza que formalmente un proyecto o una fase, documente los requisitos iniciales que satisfacen las necesidades y expectativas del cliente. Para luego ser adjudicado dependiendo del cliente (empresa privada,

transnacionales, el Estado) se tomarán las medidas legales necesarias para proceder a la ejecución del proyecto.

En el caso de estructuras metálicas, debe haber un alcance preliminar que debería estar estipulado ya sea por un contrato, orden de compra, cotización o bases de licitación, con el nombre del cliente, contratista y supervisor. O deben estar lo interesados internos y externos que en el siguiente tema se mencionaran.

Debe haber un alcance aproximando tanto en tiempo, costo y presupuesto, por ejemplo: si solo será montaje, fabricación de estructura, enlaminado en techos, pintura o remodelación.

4.2. Identificar los interesados

Es fundamental identificar a los interesados desde el comienzo de un proyecto y analizar sus niveles de interés, expectativas, importancia e influencia. Todos los proyectos a realizar tendrán una gran cantidad de interesados, para estructuras metálicas se dividen en dos partes y cada parte clasificándose por roles, departamentos, intereses, niveles de conocimiento, expectativas y niveles de influencia.

Se debe evaluar el modo en que los interesados clave pueden reaccionar o responder en diferentes situaciones al momento de transmitirles la información, a fin de planificar cómo influir en ellos para mejorar su apoyo y mitigar los impactos negativos potenciales que resultan de muchas situaciones como la mala transmisión de la información.

Tabla III. **Interesados externos e internos para proyectos de estructuras metálicas**

| Interesados | |
|---|--|
| Externos | Internos |
| Cliente final Consultoría externa Proveedores Ministerio de trabajo Ministerio de Ambiente Contratista general Subcontratista | Administración Diseño estructural Dibujo Compras Grúas y maquinaria Planta de fabricación y herrería Montaje |

Fuente: elaboración propia.

5. PLANEAMIENTO

5.1. Desarrollar el plan para la dirección del proyecto

Todas las acciones deben estar documentadas para definir, preparar, integrar y coordinar todos los planes subsidiarios. El documento del plan define la manera en que el proyecto se ejecuta, monitorea, controla y cierra. El contenido del plan variará en función del área de aplicación (presupuestos, dibujo, fabricación, maquinaria y montaje) y de la complejidad del proyecto.

Para lograr desarrollar el plan de dirección se debe tener definido los temas que se desarrollaran a lo largo del documento, los cuales:

- Definir el alcance
- Reunir requisitos o requerimientos del cliente
- Factores ambientales de la empresa
- Crear el EDT (estructura de desglose de trabajo)
- Desarrollar el cronograma de actividades
- Determinar el presupuesto
- Plan la calidad
- Desarrollar los recursos humanos
- Plan de comunicaciones
- Plan de gestión de riesgos
- Requisiciones (compras)

De todos estos procesos saldrá el controlar, monitorear y control de cambios cada fase del proyecto.

5.2. Definir el alcance

Durante el proceso de planificación, el alcance del proyecto se define y se describe de manera más específica, conforme se recaba información acerca del proyecto. Se analizan los riesgos, los supuestos y las restricciones existentes, para verificar que estén completos.

La definición del alcance para un proyecto de estructuras metálicas pudiera ser de las siguientes maneras:

- Un contrato
- Cotización
- Presupuesto aprobado
- Orden de compra
- Planos de construcción
- Bases de licitación
 - Especificaciones técnicas
 - Especificaciones generales
 - Especificaciones especiales

Estos no son excluyentes, porque normalmente la cotización iría con base en los planos, los cuales obedecen a una licitación. La orden de compra obedece cuando hay autorización, usualmente todos caen en anexos sobre un contrato que se firma una vez adjudicado el proyecto.

5.2.1. Reunir requisitos

Para un proyecto de estructuras metálicas es importante recopilar los requisitos de los interesados, para ver el efecto que tiene en el alcance. Aunque este no cambie repercute en el costo, calidad y tiempo.

Dado a este tipo de proyectos, el alcance debe ser bien definido, los requisitos se pueden recolectar posteriormente, y pueden ser los siguientes requisitos de:

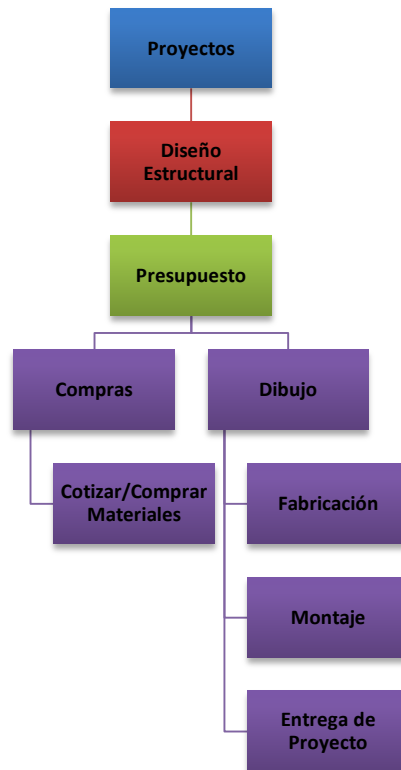
- Seguridad industrial
- Legales
- Ambientales
- Salud
- Operativos

5.2.2. Crear la estructura de desglose del trabajo (EDT)

Es una descomposición jerárquica, basada en los entregables requeridos que debe ejecutar el equipo de trabajo para lograr los objetivos del proyecto. La EDT organiza, define el alcance total del proyecto y representa el trabajo específico planificado, esto quiere decir, que se usa para definir el trabajo en términos de entregables y para la descomposición adicional de estos entregables en componentes. Es la base para establecer lo siguiente:

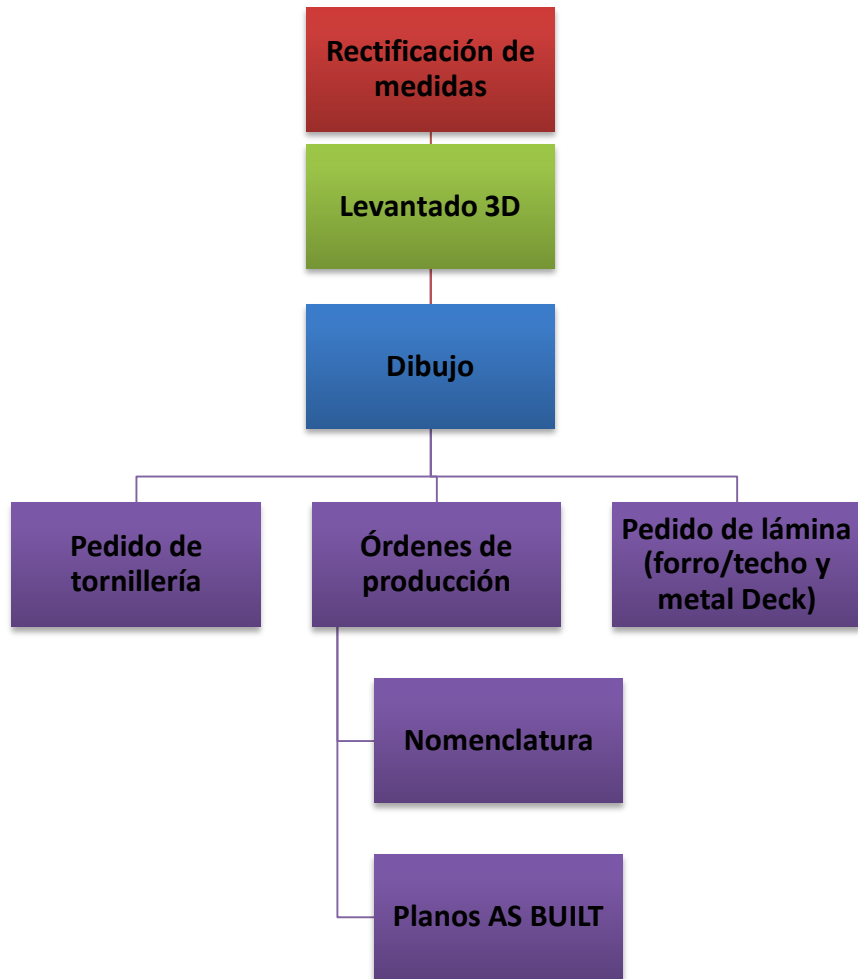
- Todos los esfuerzos/costos a incurrir para soportar los procesos y crear los entregables.
- Las responsabilidades asignadas para ejecutar y coordinar el trabajo.

Figura 5. **EDT para el planeamiento de estructuras metálicas de acero**



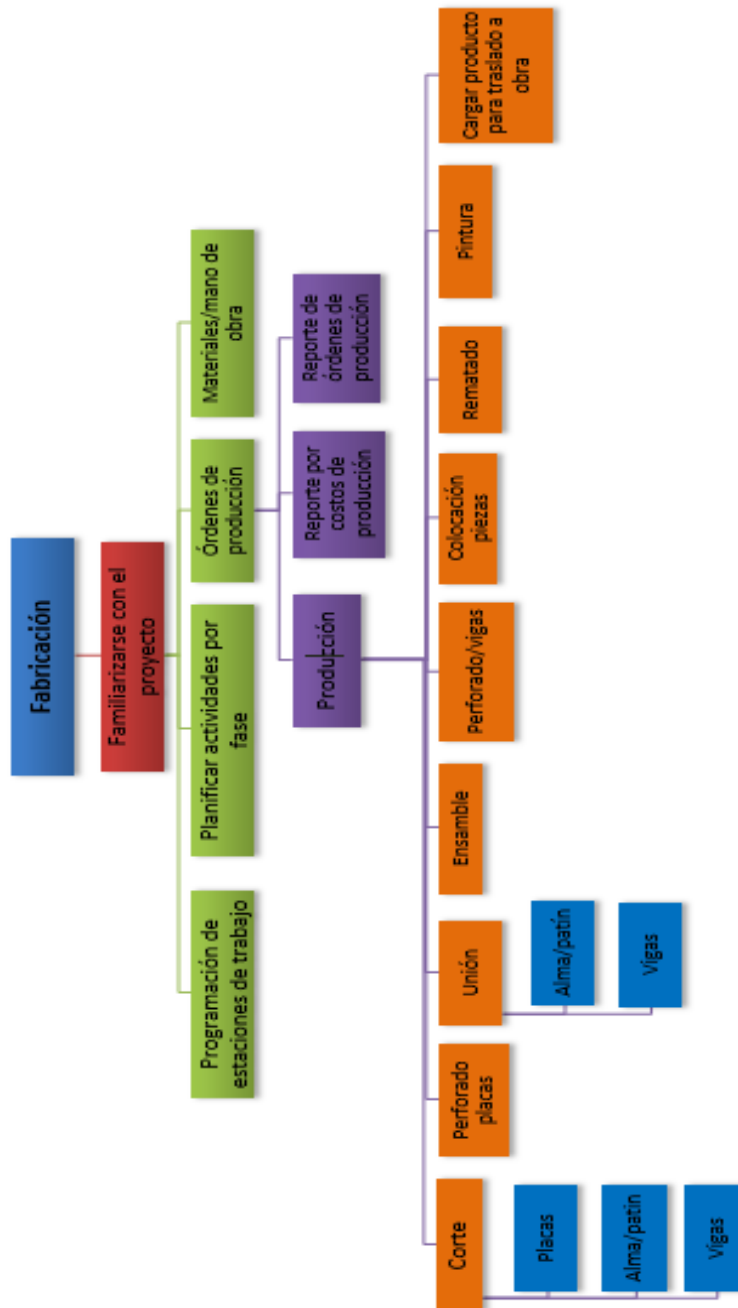
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **EDT para el planeamiento de fases de dibujo de estructuras**



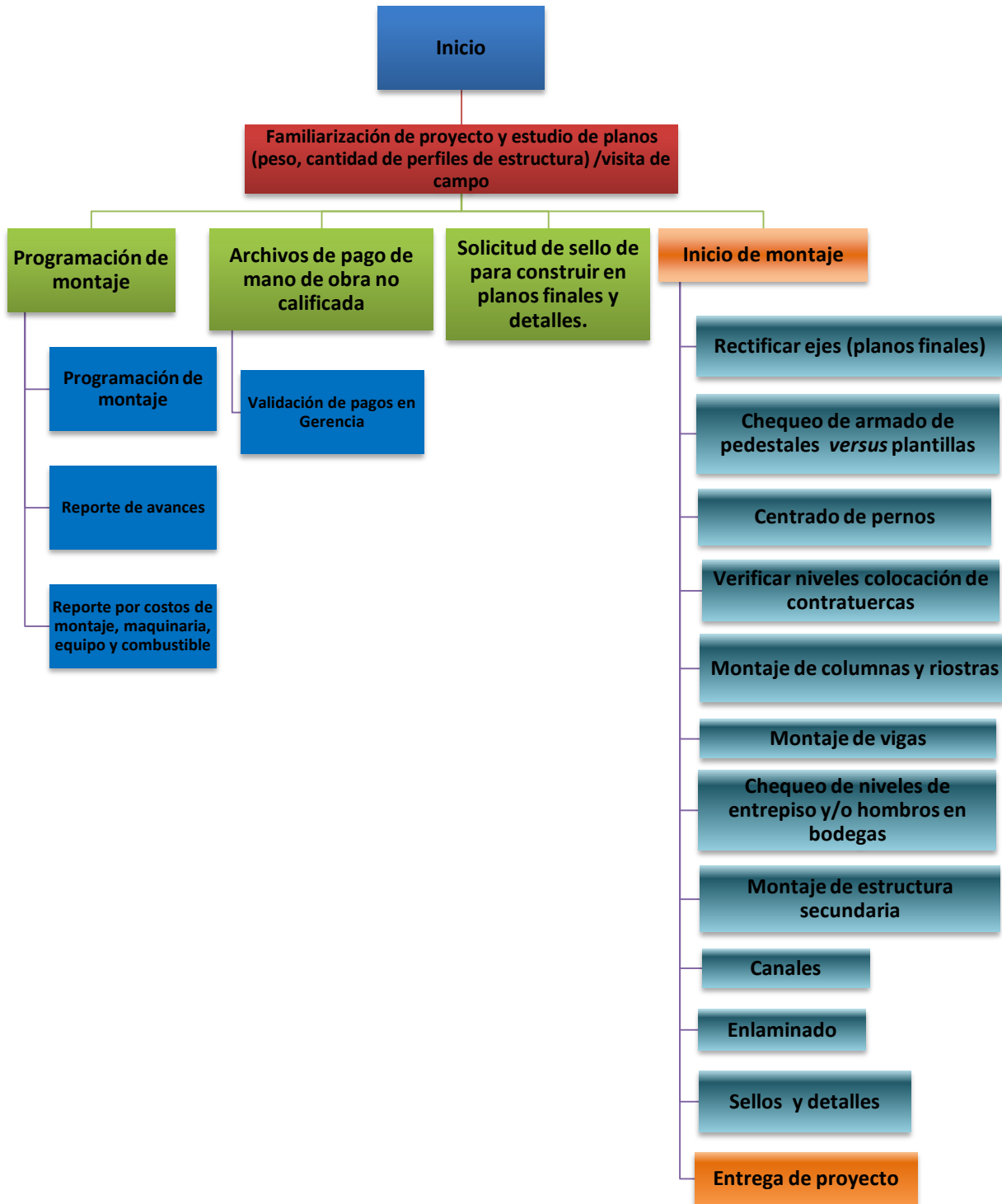
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. EDT para el planeamiento de fases de fabricación de estructura metálica herrería



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. EDT para el planeamiento de fases de montaje de estructura



Fuente: elaboración propia.

5.3. Tiempo del proyecto

Algunos profesionales experimentados distinguen entre la información impresa del cronograma del proyecto y los datos y cálculos que permiten desarrollar el cronograma. En el caso de algunos proyectos cortos como los de estructuras metálicas, especialmente los de menor alcance, la definición de actividades, el establecimiento de su secuencia, la estimación de recursos, la estimación de su duración y el desarrollo del cronograma son procesos tan estrechamente vinculados que son vistos como un proceso único. Lo puede monitorear una persona, y es un grave error realizarlo, sino se tiene una metodología para facilitar el trabajo, no para saltárselo.

Entonces, al planificar todos los procesos se produce un plan de gestión de cronograma que selecciona una metodología, una herramienta para planificación, establecer el formato, los criterios para desarrollar y controlar el cronograma del proyecto. Entre las metodologías más conocidas, se encuentran el método de ruta crítica y el de la cadena crítica.

Figura 9. **Planificación de tiempo de proyecto**



Fuente: elaboración propia.

5.3.1. Definir las actividades

Los componentes de la EDT engloba todas las actividades en paquetes que se vuelven entregables, esos entregables son las actividades a realizar al momento que se ejecutará el proyecto. En estructuras metálicas las actividades son variables, dependiendo de qué tipo de estructura se quiere construir, como bodegas, naves industriales, entresijos, edificios, entre otros. Entonces, tener un listado estándar de actividades es un poco difícil. Sin embargo, los hitos si pueden listarse debido a estos son obligatorios, como los exigidos por el contrato.

Las actividades principales al momento de ejecutar un proyecto para este tipo de edificaciones son:

- Dibujo
- Compras
- Fabricación/herrería
- Montaje

Cada una de estas áreas contiene actividades y procesos estipulados para poder llevar a cabo las mismas en planta y en campo. A continuación se muestran algunas actividades e hitos para un proyecto de una estructura tipo bodega que en los anexos se mostrarán los planos estructurales con más detalles.

Tabla IV. Listado de actividades y atribuciones

| DIBUJO |
|---|
| Rectificación de medidas, ejes, vanos en planos vista en planta y elevación. Nivelación y topografía. Información requerida con respecto al <i>check list</i> . |
| Dibujo de la estructura completa en 3D con detalles. |
| Periodo de evaluación de la estructura, donde el cliente tendrá la oportunidad de solicitar cambios en diseño de estructura para proceder al inicio de fabricación. |
| Aprobación del cliente o interesado en aceptar la solicitud a cambios en estructura. |
| Modulación de partes de la estructura del levantado en 3D para ordenes de fabricación, nomenclaturas, Planos AS built, tornillería, lámina (Forro/techo y metal <i>deck</i>). |
| FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA Y HERRERÍA |
| Estructura principal: |
| Chequeo de planos estructura principal |
| Estructura metálica p/ tienda (20 % pend.), incluye marcos metálicos de alma llena, costaneras, tensores, templetes, canal de agua pluvial con sus sellos, <i>flashings</i> y monitor; platinas de anclaje y 2 manos de pintura anticorrosiva gris de glidden o color. |
| Estructuras secundarias: |
| Chequeo de Planos de estructura secundaria. |
| Estructura para canopy frente a tienda altura 3,50 snpt, incluir canal con sus sellos y estructura metálica, lámina esmaltada-troquelada b/b cal. 24, <i>flashing</i> , canal y 2 manos de pintura anticorrosiva gris. |
| Cajas rigidantes tipo 1 altura de 1.201 m, para forros frontales y laterales, incluye costaneras y templetes (según lo indicado en planos) para fijación de lámina de cerramiento de tienda, incluye 2 manos anticorrosivo gris. |
| Cajas rigidantes tipo 2 altura de 1.401 m, para forros laterales, incluye costaneras y templetes (según lo indicado en planos) para fijación de lámina de cerramiento de tienda, incluye 2 manos anticorrosivo gris. |
| Cajas rigidantes tipo 3 altura de 2.33 m, para forros laterales, incluye costaneras y templetes (según lo indicado en planos) para fijación de lámina de cerramiento de tienda, incluye 2 manos anticorrosivo gris. |
| Trabajos de herrería: |
| Chequeo de planos de detalles de herrería. |
| Soporte para lavamanos, incluye 2 manos anticorrosivo gris. |
| Soporte, dentro de tabique, para soportar mingitorio, incluye 2 manos anticorrosivo gris. (servicios sanitarios). |
| Suministro e instalación de esquineros angular de aluminio 3,2 x 3,2 cm con tornillos @ 60 cm. |
| Porta escobas; incluye 2 manos anticorrosivo gris (se coloca sobre el lava trapeador). |
| Protección de caja de alarma. |
| Ventilación natural en muros, utilizar rejacero 1 " x ½ " + cedazo mosquitero con marco rígido, incluye 2 manos de anticorrosivo gris, ancho variable. |
| Suministro de protección para monitor. |
| Fabricación de tapadera de cisterna con diamante pintura gris anticorrosiva a 2 manos. |
| Estructura metálica para soporte de cielo falso y luminarias en oficinas, s.s. de clientes. |

Continuación de la tabla IV.

| |
|---|
| Protección con estructomalla + marco de tubo cuadrado 1 1/4 " x1 1/4 " + piezas de 1 " x1/2 " x1/16 " sobre oficinas y s.s. y fijación lámparas y estructura cielo falso. Incluye 2 manos anticorrosivo blanco. |
| Protección en lámina translúcida, incluye 2 manos anticorrosivo gris. |
| MONTAJE DE ESTRUCTURA |
| Centrado de pernos |
| Montaje de estructura tipo bodega |
| Estructura de techo |
| Estructura de forro Lateral |
| Enlaminado superior |
| Enlaminado lateral |
| Instalación de herrería |

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Listado de hitos para montar la estructura

| Hito | Departamento | Hito | Departamento |
|---|--------------|--|--------------|
| Centrado de pernos | Montaje | Solicitud de clips | Fabricación |
| Calculo material pernos | Presupuesto | Solicitud de T's | Fabricación |
| Chequeo de cálculo de material pernos | Presupuesto | Solicitud de aislante térmico | Compras |
| Chequeo de planta de cimentación | Dibujo | Modulación de lámina techo | Dibujo |
| Solicitud de planta de cimentación | Dibujo | Chequeo de Clips listos | Fabricación |
| Solicitud compra pernos o barra | Compras | Chequeo de T's listas | Fabricación |
| Solicitud de dibujo de plantillas | Dibujo | Chequeo estatus de poliisocianurato | Compras |
| Solicitud de fabricación plantillas | Fabricación | Modulación poliisocianrato | Dibujo |
| Roscado de pernos | Fabricación | Solicitud de capote | Fabricación |
| Chequeo de estatus de plantillas | Fabricación | Chequeo láminas en planta techo | Compras |
| Chequeo de estatus de pernos | Fabricación | Chequeo de aislante térmico | Compras |
| Traslado de pernos | Compras | Chequeo de capote listo | Fabricación |
| Fabricación | Fabricación | Enlaminado forros | Montaje |
| Chequeo 3D acorde a campo y clientes | Dibujo | Chequeo de modulación de lámina forro | Dibujo |
| Montaje | Montaje | Solicitud de compra láminas | Compras |
| Solicitud modulación de pernos de montaje | Dibujo | Solicitud de angulares culatas | Fabricación |
| Rectificación de piezas a enviar a campo | Fabricación | Chequeo de flashings variables listos | Fabricación |
| Chequeo de modulación de pernos | Dibujo | Solicitud de forro T's | Compras |
| Solicitud de papelería traslados | Compras | Solicitud de aislante térmico forro | Compras |
| Solicitud compra de pernos de montaje | Compras | Solicitud de <i>flashing</i> variables | Fabricación |

Continuación de la tabla V.

| | | | |
|--|-------------|---|-------------|
| Solicitud de pintura | Compras | Medidas <i>flashing</i> variables | Montaje |
| Solicitud de viáticos y diésel traslado grúa | Montaje | Chequeo láminas en planta | Compras |
| Solicitud de viáticos y diésel | Montaje | Modulación de lámina forro | Dibujo |
| Chequeo de solicitud de viáticos y diésel | Montaje | Chequeo de T's de forro listas | Compras |
| Solicitud nomenclatura de montaje | Dibujo | Modulación poliisocianurato forro | Dibujo |
| Chequeo de compra de pernos de montaje | Compras | Chequeo de aislante térmico forro | Compras |
| Chequeo de bodega y herramienta | Montaje | Chequeo de angulares culatas en planta | Fabricación |
| Chequeo de papelería traslados | Compras | Solicitud de <i>flashings</i> estándar | Fabricación |
| Chequeo de disponibilidad de grúa/traslado | Montaje | Chequeo de <i>flashings</i> estándar listos | Fabricación |
| Chequeo de pintura en planta | Compras | Metal Deck | Montaje |
| Chequeo de diésel en planta | Compras | Solicitud de <i>studs</i> o pasadores | Compras |
| Chequeo nomenclatura realizada | Montaje | Solicitud de compra de <i>deck</i> | Compras |
| Enlaminado techo | Montaje | Solicitud de modulación de <i>deck</i> | Dibujo |
| Solicitud de compra poliisocianurato | Compras | Chequeo de realización de modulación <i>deck</i> | Dibujo |
| Solicitud de canales | Fabricación | Chequeo de estatus faldones metal <i>deck</i> | Fabricación |
| Chequeo modulación lámina techo | Dibujo | Chequeo de instalación eléctrica en campo | Montaje |
| Chequeo de fabricación de canales | Fabricación | Solicitud de faldones metal <i>deck</i> | Fabricación |
| Solicitud de compra láminas techo | Compras | Chequeo de <i>deck</i> y <i>Studs</i> o pasadores en planta | Compras |

Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Secuenciar las actividades

En cualquier tipo de proyecto siempre debemos identificar y documentar las relaciones entre las actividades, mediante relaciones lógicas. Conectar todas las actividades e hitos con un predecesor y un sucesor, muchas veces puede que sea necesario tener adelantos o retrasos. Todo esto puede establecerse utilizando un software de gestión de proyectos como Microsoft Project o empleando técnicas manuales.

Las herramientas que se pueden utilizar comúnmente son:

- El método de diagramación por precedencia (PDM) es utilizado en el método de la ruta crítica (CPM) para crear un diagrama de red del cronograma.
- Determinación de dependencias que se emplean en diferentes tipos:
 - Obligatorias: son las que implican limitaciones físicas, como en un proyecto de estructuras metálicas. Es imposible erigir la estructura principal si no están centrados los pernos en los pedestales de la cimentación.
 - Discrecionales: pueden crear valores arbitrarios de holgura total y pueden limitar las opciones posteriores de planificación.
 - Externas: que son las que están fuera del control del equipo del proyecto como en un proyecto de estructuras metálicas la evaluación del impacto ambiental debe hacerse antes de iniciar obra y demás actividades.
- Aplicación de adelantos y retrasos que permiten la aceleración de la actividad sucesora, en estructuras metálicas, un claro ejemplo es adelantar la fabricación de estructura principal para no tener atraso en la herrería.

Dado a que es repetitivo el trabajo, y en algún momento hay procesos que cambian, se pueden utilizar machotes de actividades y precedencias. Según se valide el tipo de proyecto se procede a la parte de recursos.

5.3.3. Estimar los recursos para las actividades

La información mostrada por el diseñador estructural debe ser plasmada en dibujo, para seguir con la secuencia de actividades de fabricación y luego montar la estructura. Sin embargo, para este tipo de proyectos debe ser minuciosa la estimación de los recursos, con mayor razón por el uso de códigos que no son locales. Esto significa que la mano de obra no es calificada y se debe contratar un consultor que sí tenga el conocimiento de los códigos internacionales y locales.

Las actividades mostradas en las tablas III y IV requieren de estimar el tipo y las cantidades de materiales, equipos, maquinaria, suministros/consumibles, personal calificado y no calificado, para tener con mayor detalle los recursos.

Tabla VI. Listado recursos por categorías

| Materiales | Consumibles | Maquinaria y equipo | Mano de obra |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Lb perfil | Lbs. electrodo 6011 | Pulidoras | Armadores en planta |
| Lb perfil columna | Galones de pintura acrílica | Barreno magnético | Ayudantes de armador |
| Lb lámina negra | Galones de pintura | Barreno manual | en planta |
| Lb Lamina negra gruesa | Galones de thinner | Llenadora | Operarios perforadores |
| Lamina 3'x 8'x1/16" | Combustible (diésel, gasolina) | Arco sumergido | Operarios rematadores |
| Lámina 4'x 8'x1/8" | Gas propano | Cierra de arco | Operarios pintores |
| Lámina 4'x 8'x1/4" | Gas acetileno | Perforadora fija | Operarios de montaje |
| Lámina 4'x 8'x1/2" | Disco corte | Perforadora portátil | en campo |
| Lámina 4'x 8'x5/8" | Disco pulir | Guías de corte | Operario de grúas |
| Lámina 6'x20'x1/4" | Cargas de acetileno | Polipastos eléctricos | |
| Lámina 6'x20'x1/2" | Sikaflex | Polipastos manuales | |
| Lámina 6'x20'x3/16" | Thermotek | Grúas todo terreno | |
| Costanera 2x6x1/16" | Soudaflex | Grúas camión | |
| Costanera 2x4x1/16" | Aislante 3mm | | |
| Costanera 3x2x1/16" | Electricidad | | |
| Costanera 4x2x1/16" | Agua | | |
| Costanera 5x2x1/16" | Micro alambre | | |
| Costanera 6x2x1/16" | Stuts | | |
| Costanera 7x2x1/16" | Polster | | |
| Costanera 8x2x1/16" | Antispater | | |
| Lb angular | Gas carbónico | | |
| Angular 4"x4"x1/4" | Oxígeno | | |
| Lb tubo Ced 40 | Tizas | | |
| Lb tubo Hss | Wipe | | |
| Tubo proceso 1 1/2" liv | Lija | | |
| Tubo proceso 2" | Aceites y refrigerantes | | |
| Tubo 2"x6"x1/16" | Repuestos (extensiones y | | |
| Tubo cuadrado 1"x1" Ch20 | soldadoras, soplete | | |

Continuación de la tabla VI.

| | | | |
|--|---|--|--|
| <p>Hierro liso 1 1/4" Hierro liso 1" Hierro liso 3/4" Hierro liso 5/8" Hierro liso 1/2" Hierro liso 3/8" Hierro liso 1/4" Tornillos A325 3/8"X1" Tornillos A325 1"X3" Tornillos A325 3/4"X3" Tornillos A325 3/4"X2 1/2" Tornillos A325 5/8"X3" Tornillos A325 5/8"X2 1/2" Tornillos A325 5/8"X2" Tornillos A325 3/8"X5" Tornillos A325 1/2"X3" Tornillos A325 1/2"X2" Tornillos A325 3/8"X1" Tuercas 1 1/4" Tuercas 1" Tuercas 3/4" Tuercas 5/8" Tuercas 1/2" Tuercas 3/8" Lámina aluzinc 26 Lámina aluzinc 24 LD 10 Remaches Mosquitero (m2) Lámina B/B Cal 26 Lámina B/B Cal 24 Lámina Cindu Cal 26 Caballete Cindu 0.78mts Lámina plástica 150 Lámina policarbonato</p> | <p>Herramientas (matillo, escuadra, almárganas, cinta métrica, brocha 3", cepillo para pulidora, boquillas de corte, piedras para chispero, brocas) Seguridad Industrial (cascos, botas industriales, mascarillas, traje protector, lentes especiales, tapones para los oídos, guantes, chaleco, arnés, línea de vida línea guía)</p> | | |
|--|---|--|--|

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV se muestra, en general, lo que normalmente son recursos principales para la fabricación de la estructura, como: materiales, consumibles, maquinaria y mano de obra. Ahora, si se tiene un buen manejo administrativo de estos recursos, no afecta el tiempo de ejecución, exceptuando los materiales importados que sí se debe esperar un tiempo estipulado dependiendo del proveedor. Sin embargo, la mano de obra y la maquinaria si afecta el tiempo dependiendo de la cantidad que se asigne y como sean gestionados.

Pero se debe tomar en cuenta que hay otros tipos de recursos que pueden afectar el rendimiento del proyecto en tiempo de ejecución, por ejemplo:

- Infraestructura del lugar (electricidad, agua)
- Acceso al lugar para maquinaria pesada
- Recursos humano local, para puestos de trabajo
 - Cantidad
 - No calificada
 - Calificada
- Normas
- En fabricación
 - Automatización
 - Mecanización

5.3.4. Estimar la duración de las actividades

Para poder estimar la duración de las actividades usualmente surgen de la persona o grupo del equipo del proyecto que está más familiarizado con el trabajo. Se asume de manera global para cada paquete a entregar, por medio de la cantidad de esfuerzo de trabajo por los operarios o mano de obra y cantidad de recursos necesarios para completar la actividad.

Pero hay muchas formas de estimar la duración como:

- La estimación análoga que toma el juicio de expertos con la información histórica precedente de los proyectos similares o anteriores puede dar un estimado de duración de actividades.
- La estimación paramétrica utiliza una relación estadística entre datos históricos de otros proyectos y otras variables para calcular costo,

presupuesto y duración. Por ejemplo, se tienen 855,4 m² de enlaminado para montar en obra y los operarios de montaje cubren 25 m²/hr se tendrá que el trabajo estaría en 34,21 horas convertidas en horas de jornada de trabajo por día normal serían aproximadamente 5 días para terminar la instalación de lámina.

- El método PERT (Técnica de Revisión y Evaluación de Programas) utiliza tres estimados para definir un rango aproximado de una actividad, por ejemplo, para montaje, con respecto al tiempo climático de lluvia:
 - Tiempo probable (t_M) = trabajar en horas secas del día
 - Tiempo optimista (t_o) = no llueve
 - Tiempo pesimista (t_P) = parar la obra por lluvia

$$T_E = (t_o + 4 t_M + t_P)/6$$

El resultado que proporciona esta ecuación da mayor exactitud y los tres valores aclaran el rango de incertidumbre al estimar la duración.

Hasta cierto punto de vista, para proyectos de estructuras metálicas, por la parte del proceso de fabricación, debería existir un estudio de tiempos y movimientos de tal manera que se pueda determinar con exactitud cuánto tarda cada operación, incluso sería más accesible si se tienen máquinas automatizadas.

En el caso de montaje, se recomienda hacer un estudio de tiempos y movimientos, aunque las actividades que se realizan no son las mismas. Se debe saber el parámetro en horas/hombre con base en las actividades que se efectúan.

Por otra parte, los proyectos siempre deben tener un plan de contingencia para cubrir la incertidumbre del cronograma. Esto puede ser tomado como un porcentaje de la duración de la actividad estimada. Por ejemplo, el montaje de la estructura puede tardar 3 semanas \pm 3 días considerando 6 días de trabajo, en la semana normal la actividad durará al menos quince días y no más de 18 días, debido al 15 por ciento de holgura que se le podría dar a la actividad.

5.3.5. Desarrollar el cronograma

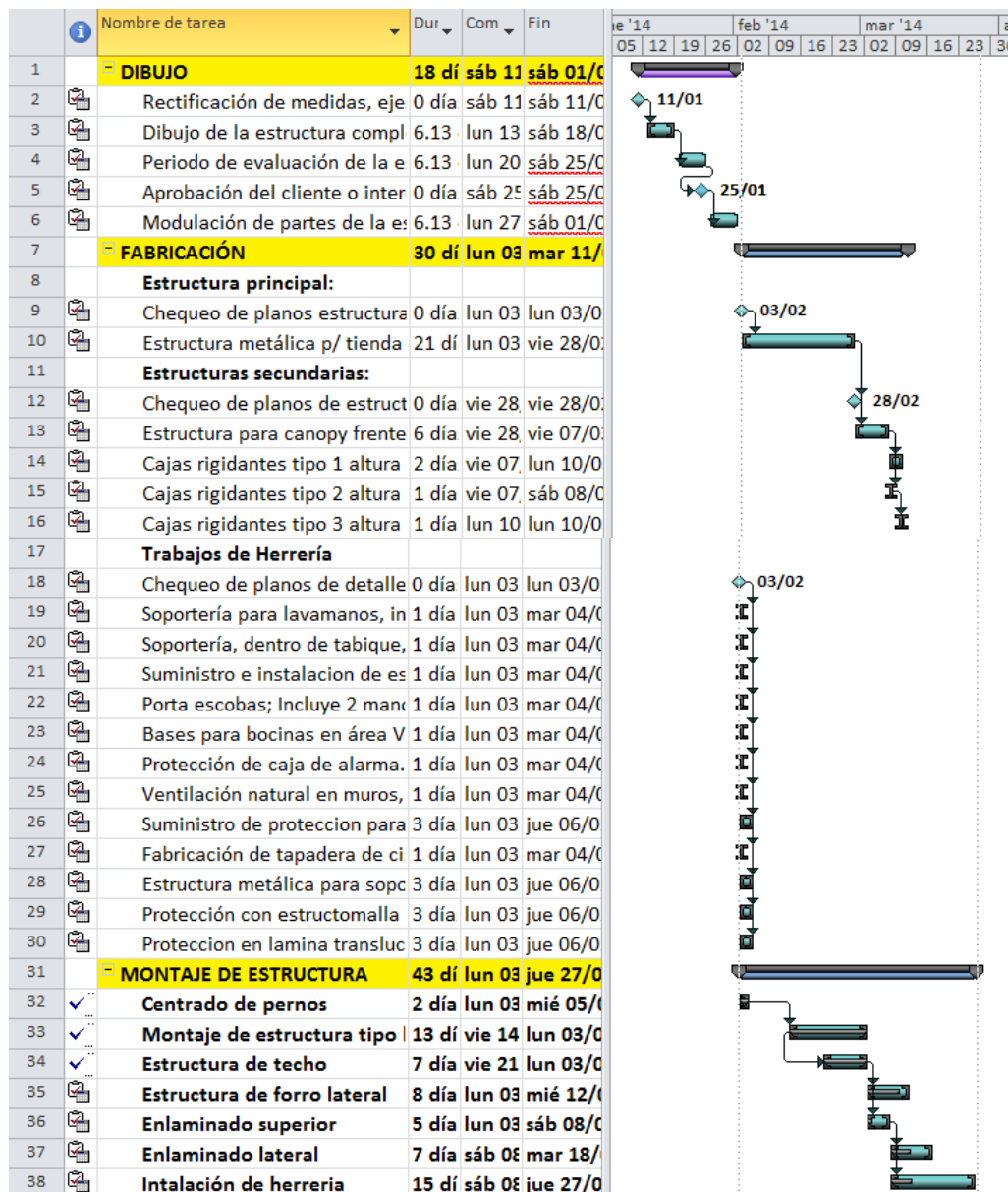
La herramienta más funcional para crear un cronograma de actividades, duraciones y recursos, es el paquete de Microsoft Project, ya que crea una planificación aceptable con fechas de inicio y finalización para las actividades e hitos.

En un cronograma se emplean muchas técnicas analíticas que pueden funcionar metodologías de planificación a lo largo de la vida del proyecto, como por ejemplo: la ruta crítica muestra las actividades que pueden ser afectadas por la holgura y flexibilidad del cronograma que pueden afectar, o a la vez ser nulo. Las redes de actividades pueden tener varias rutas críticas, las cuales pueden ser necesario ajustar las duraciones en las relaciones lógicas, adelantos y retrasos.

La ruta crítica lleva al análisis de los recursos compartidos o críticos necesarios. Esto quiere decir que muchas veces puede ser un riesgo no tener en algún momento del proyecto la disponibilidad de cierto recurso, por ejemplo: se tienen 4 grúas para montaje, de las cuales 3 ya están siendo usadas en otros proyectos, pero se tiene la posibilidad de tener la única que queda. Sin embargo, está en mantenimiento y eso cambiaría la ruta crítica, obligando a utilizar la holgura de otra actividad, para no extender más días el proyecto.

Este es un ejemplo para un proyecto de estructura metálica de una bodega que se había mencionado anteriormente donde muestra las actividades, atribuciones e hitos de las tablas IV y V.

Figura 10. **Ejemplo de cronograma para un proyecto de estructuras metálicas de acero**



Fuente: elaboración propia.

5.4. Gestión de costos

Después de obtener las adquisiciones necesarias para iniciar cualquier proyecto, lo más importante es cómo gestionar los costos tomando en cuenta las proyecciones y análisis de procesos adicionales que en la vida del proyecto irán surgiendo mientras se ejecuta. Lo que establece la gestión de costos viene del EDT para hacer estimados de costos, presupuesto y control de los mismos.

La planificación de un proyecto de estructuras metálicas puede llegar a ser un poco más expensa a comparación de uno de obra gris, la comparación de costos por su idealización es más real, la producción es industrial. El origen del costo del material lo brinda el mercado, su comportamiento es sencillo, tolera la acción sísmica, la mano de obra puede ser calificada y no calificada.

Hay muchas razones por la cual, las estructuras metálicas pueden variar en economía y facilidad, calcular su costo puede tener diferentes fluctuaciones y cambios de presupuesto en la vida del proyecto mientras se va ejecutando. Las plantillas para hacer un presupuesto de estructura metálica normalmente no son estandarizadas, varían dependiendo del tipo de proyecto, igual al material, sus unidades (m², ml, ton, unidad) para los precios unitarios.

Hay varios casos para la realización del presupuesto, como el tipo de proyectos que nacen con montos estipulados, se enfocan en cómo determinar los costos y presupuestos para entregarle al cliente y se autorice el proyecto. Hay otros casos de proyectos en particular de construcción como lo es estructuras metálicas, que no pueden arrancar sin tener un presupuesto aprobado. Por lo tanto, la fase de determinación de costos y presupuesto, debe estar realizado antes de que se autorice el proyecto, y el presupuesto no se enfocará en cotización que se le entregará al cliente, sino en el presupuesto

que utilizaría el director del proyecto, para llevar el control de la línea base del costo.

5.4.1. Estimar los costos

Lo primordial para cualquier proyecto de edificaciones de obra civil e infraestructura es tener el contrato adjudicado. Esto quiere decir que ya los términos legales están claros, dependiendo quien sea el cliente, si se habla de iniciativa privada, que normalmente los contratos son por llave en mano o por administración. Pero si se habla del Estado, se necesita estar claros con los términos legales para ejecución de obras, adquisición de bienes, suministros y servicios, para licitar el proyecto con las fianzas de los artículo 64 al 70 de la Ley de Contrataciones del Estado de Guatemala que tiene todos los términos legales y son los siguientes:

- Sostenimiento de oferta
- Cumplimiento
- Anticipo
- Conservación de obra o de calidad o de funcionamiento
- Saldos deudores
- Formalidades
- Garantías

La estimación de los costos para esta sección estará enfocada en la estimación de los costos del material de la estructura, ejecución e indirectos para proyectos de estructuras metálicas de acero.

Lo siguiente se puede tomar como base para estimar los materiales del costo directo de fabricación en proyectos de estructuras metálicas.

Material para estructura principal

- Perfiles WF
- Lámina para elementos armados
 - Columnas principales
 - Cartela en columnas
 - Cartela en vigas
 - Viga principal
 - Cartela en cumbrera
 - Columnas centrales
- Tubería para breizas
- Lámina placas
- Varilla P/pernos + tuercas
- Tornillería

Material para estructura secundaria

- Varilla lisa para tensores
- Angulares para riostras
- Angulares para bracones
- Costaneras

Mano de obra para fabricación estructura Principal

- Columnas laterales
- Columnas centrales
- Vigas principales

- Vigas de amarre
- Platinas tipo 1, 2, 3 o más
- Planchas de anclaje
- Pernos de anclaje
- Breizas

Consumibles en fabricación

- Electroodos
- Galones de pintura/thiner
- Acetileno
- Discos de corte/pulir
- Protección industrial
- Brocas, entre otros

Si la estructura es un entrepiso se toma en cuenta todo lo anterior omitiendo la estructura secundaria, es lo único que cambiaría por lo siguiente:

- Pasadores de corte
- Metaldeck
- Faldones de lámina negra
- Gradadas

El costo directo de maquinaria y equipo es importante, porque se analizan los costos con base en hora de utilización, por ello se debe considerar:

- La vida útil
- Precio de adquisición

- Reparaciones
- Consumo
 - Combustibles
 - Lubricantes
 - Llantas
 - Otras fuentes de energía
- Mantenimiento
- Depreciación

Los costos directos por mano de obra, en muchas empresas que trabajan estructuras metálicas de acero, se representan como un problema dinámico y complejo. En lo dinámico se refiere a los procedimientos de fabricación y construcción porque se manejan con códigos para edificaciones no locales, herramientas y tecnología. Lo complejo se refiere a los sistemas de pago, el riesgo o seguridad de las actividades, la magnitud del proyecto, la facilidad o dificultad de ejecución.

Por otra parte, se toman en cuenta las costumbres locales, las prestaciones que están estipuladas en el Código de Trabajo de Guatemala y el salario mínimo que se recibe por servicios prestados. Inclusive, hay empresas que manejan un salario y un pago por destajo, esto surge a raíz de que en los proyectos las actividades a realizar se manejan como metas y no por horas a trabajar. Luego se brindan las prestaciones con base en el destajo que se realizó por mano de obra en el proyecto. En la mano de obra directa entrarían los siguientes:

- Armadores y ayudantes

- Operarios perforadores
- Operarios rematadores
- Operarios pintores

El costo indirecto en las empresas se maneja como el costo adicional por gastos y beneficios técnicos, que se agregan al costo directo. Esto se refiere a la administración central y administración en campo. Estos se derivan de la gráfica 3.2 EDT para el planeamiento de estructuras metálicas de acero, debido a que se manejan con la organización empresarial y de cada proyecto a realizar.

Entonces, para poder calcular el porcentaje de indirectos para la administración central, se puede hacer una simple operación como la siguiente:

$$\% \text{ indirecto} = \frac{\sum \text{Costo Anual por gastos técnicos y Admin}}{\text{Volumen de Ventas o ganancia esperada al año}}$$

Donde el volumen de ventas o ganancia esperada al año son las proyecciones esperadas de los proyectos ejecutados durante el año y los gastos técnicos administrativos vienen de las siguientes áreas:

- Diseño
- Compras
- Bodega
- Transporte locales a planta
- Supervisión planta
- Dibujo
- Dpto. de proyectos
- Planeamiento

- Contador
- Mensajero
- Alquileres
- Servicios
 - Electricidad
 - Agua
 - Teléfonos

- Mantenimiento
- Asociaciones y colegios profesionales
- Amortizaciones
- Equipo de oficina
- Materiales de consumo
 - Impresos
 - Papelería
 - Artículos de limpieza

- Capacitaciones
- Actividades extras
 - Deportivas
 - Regalos a clientes
 - Concursos
 - Celebraciones oficina

Existen otros gastos necesarios que se deben mencionar porque son importantes deben estar incluidos en sueldos y gastos técnicos administrativos, como:

- Prestaciones y derechos
 - Aguinaldo
 - Bono 14
 - Vacaciones
 - Indemnización
 - IGSS
 - Bono por antigüedad

Para calcular el porcentaje de indirectos para la administración en campo o montaje, se puede hacer una simple operación como la siguiente:

$$\% \text{ indirecto} = \frac{\sum \text{Costo Anual por gastos técnicos en campo o montaje}}{\text{Costo directo del proyecto}}$$

Donde el costo anual por gastos técnicos en campo o montaje se toman de lo siguiente:

- Consumibles en campo
 - Discos de corte/pulir
 - Carga de acetileno
 - Pintura
 - Electrodo
 - Brocas
 - Equipo de protección

- Combustibles
- Fletes
 - Flete de materiales a planta de fabricación de estructura
 - Flete de planta a obra de construcción y montaje de estructura
- Viáticos
- Grúas
 - Flete grúa (unidad)
 - Grúa (horas o día)
- Mano de obra en montaje
 - Centrado de pernos
 - Marcos (columnas y vigas)
 - Retoques
 - Forros
 - Supervisión

La mano de obra en campo recibe los mismos beneficios que la mano de obra directa en fabricación, el salario mínimo, más destajo y prestaciones.

Existe un sobre costo que se aporta como un factor de imprevistos, esto significa que tanto los costos directos y los indirectos pueden ser afectados por este factor acumulativamente. Este factor para imprevistos puede estar entre el 3 al 7 por ciento, pero se debe hacer un juicio de expertos junto a un estudio

para analizarlo con base en la información histórica de otros proyectos antes realizados.

5.4.2. Determinar el presupuesto

El presupuesto se debería armar de tal manera, que se pueda llevar un buen control idealmente basado en los EDT de tema 3.2.2

Para determinar el presupuesto se deben sumar todos los costos estimados de los paquetes de las actividades, el material, mano de obra, maquinaria, equipo, montaje y administración. Se acostumbra a hacer renglones de trabajo, donde cada renglón contiene su precio unitario desglosado. Este debe tener el costo con o sin IVA incluido al costo directo, el factor de indirectos e imprevistos. También, debe incluir el tonelaje o peso, por cuestiones de fluctuación de material en el mercado y transporte de la estructura.

5.5. Planificar la calidad

La planificación de la calidad debe realizarse en paralelo a los procesos o actividades que realizan las demás áreas del proyecto. El cual se reflejará en los costos. El cliente no siempre busca la calidad si no la cantidad que pagará por el producto final. Desde cierto punto de vista la calidad tiene un costo, que a largo plazo dará la garantía de que el trabajo perdurará por mucho tiempo y la garantía de proteger las vidas que estarán dentro de la estructura.

Hay muchas técnicas para evaluar la calidad en estructuras metálicas de acero, según cual sea el interés y el tipo de estructura a montar. Por cada área de la figura 5 del EDT para el planeamiento de estructuras metálicas de acero,

se pueden enlistar muchos requisitos que son importantes para la calidad del trabajo, desde el diseño de la estructura, fabricación, certificaciones, seguridad, evaluaciones, mano de obra, entre otros.

En forma general, para planificar la calidad se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El diseño estructural en estructuras de acero englobaría:
 - Analizar la arquitectura de la edificación para adecuar un diseño estructural.
 - El análisis estructural bajo códigos locales de Guatemala está normalizado por AGIES NSE 2-10, demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección, NSE 3-10 diseño estructural de edificaciones, ASCE/SEI 7-10 sistemas estructurales.
 - El diseño estructural bajo códigos internacionales para estructuras metálicas de acero, AISC 341-10 provisión sísmica, AISC 360-10 cálculo de resistencias, AISC 358-10 conexiones precalificadas.

- Para contener la calidad en el presupuesto del proyecto se deben incluir:
 - Certificaciones de los materiales bajo especificaciones normadas por las ASTM.
 - Tornillos ASTM A-325, A-490
 - Tuercas ASTM A-563, A-194
 - Washers ASTM F-436, F-847
 - Pernos de anclaje ASTM A-36, F-1554

- Studs ASTM A-108 (1010-1020)
 - Lámina negra ASTM A-36, A-992
 - Perfiles de molino ASTM A-36, A-992
 - Entre otros
- Fabricación de la estructura
 - Certificación de procesos de soldadura por la AWS D-1.8
 - Radiografías AWS D 1.1
 - Ultrasonidos AWS D 1.1
 - Seguridad industrial
 - Mano de obra calificada AWS D 1.1 , AWS D-1.8
- Dibujo y modelación de la estructura
 - Órdenes de producción con nomenclaturas
 - Tiempo estipulado y adecuado para modelación

Dentro de la planificación deben estar incluidas las actividades de aseguramiento y el sistema que se utilizará, que se refiere a: normas, códigos, requisitos del cliente. Debe ir definido cómo controlar la: inspección, cantidad y muestreo.

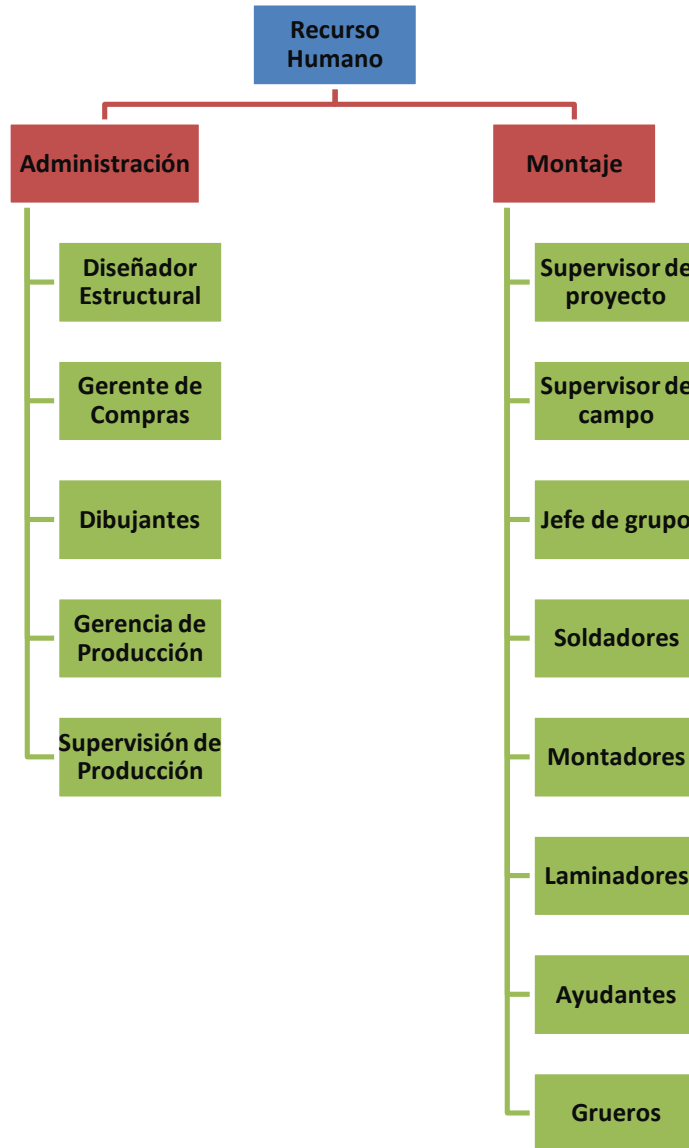
5.6. Desarrollar el plan de recursos humanos

La planificación de los recursos humanos se utiliza para determinar e identificar aquellos que posean las habilidades requeridas para el éxito del proyecto. Se deben documentar los roles y responsabilidades dentro del proyecto, los organigramas y el plan para la dirección de personal.

Por cada área administrativa del organigrama de cualquier empresa tiene que cumplir varias actividades que le corresponde para llevar a cabo un proyecto. Los colaboradores del proyecto deben cumplir con ciertas funciones, que deben ser documentadas para poder sacar un perfil de una persona que pueda cumplir con estas funciones.

En el caso de una empresa que maneja proyectos de estructuras metálicas un organigrama típico puede ser el siguiente:

Figura 11. Diagrama de planificación de recurso humano



Fuente: elaboración propia.

Por ejemplo, las funciones y atribuciones para la función de supervisión del proyecto:

- Llevar control de costos, tiempo, alcance y calidad
- Generación de informes sobre avance de obra
- Reuniones de rendición de cuentas
- Manejo de cambios

Perfil del supervisor de campo:

- Conocimiento del manejo del cronograma
- Planificar la organización del equipo para montaje
- Realizar reportes de planilla
- Estimaciones de pago
- Control de grúas

Conociendo las funciones y atribuciones de un puesto, se puede definir el perfil del personal que se deberá adecuar al rol, autoridad, responsabilidad, competencia, dentro de cada área que maneje la empresa para gestionar los proyectos.

Posiblemente sea necesario para cada elemento que tenga el perfil para este tipo de puestos, desarrollarlos con capacitaciones, que se desarrolla en la sección 6.3.1. desarrollar el equipo del proyecto.

Esto en efecto, es para empresas definidas que trabajan proyectos de estructuras metálicas, no son equipos de trabajo que se crearan para trabajar en proyectos en particular.



5.7. Planificar las comunicaciones

Para la gestión de proyectos de estructuras metálicas se debe definir cómo abordar las comunicaciones de estos, lo que se refiere a quién necesita qué información, cuándo la necesitará, cómo le será proporcionada y por quién.

Hay que tomar en cuenta que una comunicación eficaz significa que la información se suministra en el formato adecuado, en el momento justo y con el impacto apropiado. Además, una comunicación eficiente significa proporcionar únicamente la información necesaria.

Lo importante es transmitir a cada área la información según el interés e influencia en el proyecto, se debe recibir y transmitir según se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. Información a recibir y transmitir entre interesados

| Interesado |  Recibir |  Transmitir | Canal o medio | De qué forma |
|--------------------|---|---|---|--|
| Cliente | Reportes de avances del proyecto. Problemas identificados no previstos. | Alcance del proyecto Contrato o bases de licitación | Contratos Correo electrónico Impresos | Reporte escrito Reuniones Presentaciones Fotografías |
| Diseño estructural | Detalles del diseño arquitectónico. Bases de licitación (cargas mayores a solicitadas en código, requerimientos especiales de materiales) Información del terreno. | Peso de la estructura. Especificaciones de materiales utilizadas en diseño. Diseño final con perfiles a utilizar. | Correo electrónico Impresos Contratos | Orden firmada Reuniones Presentación |
| Presupuesto | Cronograma de actividades por área. Planos autorizados para construcción. Requerimientos de calidad según el cliente. Rubros de administración. Cambios alternos en presupuesto. | Cliente: presupuesto total por proyecto, cambios de presupuesto por fluctuación de material. Dibujo: material a utilizar desglosado. Compras: precios cotizados. Montaje: costo de montaje. Fabricación: costo de producción. Herrería: costo de producción. Grúas y maquinaria. | Correo electrónico Impresos | Orden firmada Reuniones Reporte escrito Informes |
| Compras | Presupuesto total del proyecto desglosado con precios unitarios. Negociación propuesta por el cliente. Cronograma de actividades por área. Requisiciones de materiales por área con tiempo anticipado. Información de proveedores. Programación de grúas y maquinaria. | Cliente: información de los proveedores. Dibujo: material cotizado y en bodega. Presupuesto: fluctuación del material para cotizar. Montaje: respuesta de requisición del material a utilizar en campo. Fabricación: información acerca del material en bodega previamente solicitada. Herrería: información acerca del material en bodega previamente solicitada. Grúas y maquinaria: solicitudes de combustible, lubricantes y mantenimiento. | Correo electrónico impresos | Orden firmada Reuniones Reporte escrito |
| Dibujo | Planos autorizados para construcción de arquitectura y estructurales. Presupuesto total del proyecto desglosado. Programación del cronograma de actividades de obra. | Compras: requisición de tornillería, lamina para techo y forros. Montaje: planos en 3D de la estructura con ejes y vanos rectificadas, nomenclaturas de estructuras, colocación de columnas, vigas, joists. | Correo electrónico impresos | Orden firmada Reuniones Reporte Escrito Fotografías Presentaciones |

Continuación de la tabla VII.

| | | | | |
|--------------------|--|---|--|---|
| | <p>Programa de fabricación. Listado de materiales en <i>stock</i>. Topografía final: levantamientos, planimetría, altimetría.</p> | <p>Herrería: detalles de estructura de techo, monitores, forros, voladizos, gradas, rejillas, puertas, portones, ventanas, entre otros.</p> | | |
| Fabricación | <p>Cronograma de actividades del proyecto. Órdenes de modulación de piezas a fabricar con detalles. Presupuesto con precios por operación e índice por peso del material en bodega para fabricar. Programación de mantenimiento de maquinaria.</p> | <p>Dibujo: cambios o rectificación de modulaciones. Compras: requisición de material en bodega para fabricar. Presupuesto: cambios o rectificación de modulaciones en fabricación. Montaje: información sobre el lote de estructura a montar en campo. Herrería: solicitud de rematado y aplicación de recubrimiento de piezas. Grúas y maquinaria: tonelaje por lote de piezas a trasladar a campo, solicitud de mantenimiento a maquinaria.</p> | <p>Correo electrónico impresos</p> | <p>Orden firmada Reuniones Reporte escrito Fotografías Presentaciones</p> |
| Herrería | <p>Planos autorizados para construcción de arquitectura y estructurales. Cronograma de actividades del proyecto. Órdenes de modulación de piezas a fabricar con detalles. Presupuesto con precios por operación, unitarios e índice por peso. Material en bodega para fabricar. Calidad solicitada por cliente para rematado y aplicación de recubrimiento en piezas. Programación de mantenimiento de maquinaria.</p> | <p>Dibujo: cambios o rectificación de detalles en modulaciones. Compras: requisición de material en bodega para fabricar. Presupuesto: cambios o rectificación de modulaciones en fabricación. Montaje: información sobre estructura secundaria a montar en campo. Fabricación: rematado y aplicación de recubrimiento de piezas según la calidad solicitada por el cliente. Grúas y maquinaria: lote de piezas a trasladar a campo, solicitud de mantenimiento a maquinaria.</p> | <p>Correo electrónico impresos</p> | <p>Orden firmada Reuniones Reporte escrito Fotografías Presentaciones</p> |
| Grúas y maquinaria | <p>Cronograma de actividades del proyecto. Programación de uso de maquinaria y grúas. Cantidad de fletes hacia campo para montaje. Solicitudes de mantenimiento de maquinaria y grúas.</p> | <p>Compras: solicitudes de combustible, lubricantes y piezas para mantenimiento. Presupuesto: depreciación por maquinaria y grúas. Montaje: planificación del uso de maquinaria, grúas y mantenimiento. Fabricación: planificación del uso mantenimiento de maquinaria y grúas.</p> | <p>Correo electrónico impresos</p> | <p>Orden firmada Reuniones Reporte escrito Fotografías Presentaciones</p> |

Continuación de la tabla VII.

| | | | | |
|---------|--|---|-----------------------------|---|
| Montaje | <p>Acuerdos legales de administración para montaje o construcción en campo. Cronograma de actividades del proyecto. Planos en 3D de la estructura con detalles, ejes y vanos rectificadas, nomenclaturas de estructuras, colocación de columnas, vigas, <i>joists</i>, enlaminado, entre otros. Planificación del uso de maquinaria, grúas y su mantenimiento. Solicitudes a cambio en montaje de estructura Información sobre el lote de estructura a montar en campo. Información sobre la requisición del material a utilizar en campo.</p> | <p>Compras: requisición del material a utilizar en campo y consumibles. Grúas y maquinaria: requisición de grúas, maquinaria y programación del mantenimiento. Presupuesto: listado de necesidades y cambios extras en obra del proyecto. Dibujo: topografía final del levantamientos, planimetría, altimetría y rectificación de medidas. Fabricación: planificación de montaje de estructura. Herrería: planificación de montaje de estructura secundaria.</p> | Correo electrónico impresos | <p>Orden firmada Reuniones Reporte escrito Fotografías Presentaciones</p> |
|---------|--|---|-----------------------------|---|

Fuente: elaboración propia.

5.8. Planificar la gestión de riesgos

En proyectos de estructuras metálicas de acero, pudiera ser que los riesgos existen desde el momento en que se cotiza el proyecto, entonces la planificación de gestión de riesgos debe iniciarse tan pronto se haya adjudicado el contrato en la iniciación del proyecto, esto es muy importante para asegurar el nivel, el tipo y visibilidad de estos riesgos, que pueden desviar las líneas bases de acción importantes en cualquier proyecto de estructuras metálicas de acero que son las siguientes:

- Alcance
- Costos
- Tiempo
- Calidad

Algo muy importante es la correcta planificación, porque puede conducir a disminuir los riesgos en cualquier proyecto. La forma correcta de llevar a cabo la gestión es en las reuniones de planificación, donde los participantes deben ser todos los involucrados de cada área de la ejecución del proyecto, como las áreas de:

- El director ejecutivo, diseñadores estructurales, presupuestos, compras, dibujo, fabricación, montaje, entre otros los interesados clave del proyecto.

Para evitar que se salgan de control las cuatro líneas de acción, se pueden implementar varias metodologías. Se debe utilizar una sola para medir, como por ejemplo: plantillas generales que separen por categorías de riesgo, niveles, probabilidad, impacto por objetivo o matriz de probabilidad e impacto, a continuación lo muestra la tabla VIII.

Tabla VIII. Definición de escalas de impacto para cuatro objetivos de un proyecto en estructuras metálicas

| Condiciones definidas para las escalas de impacto de un riesgo sobre los principales objetivos del proyecto | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
| Objetivos del proyecto | Escalas relativas o numéricas | | | | |
| | Muy baja /.05 | Baja /.10 | Moderada /.20 | Alta /.40 | Muy Alta /.80 |
| Costo | Incremento insignificante del costo | <10 % incremento en costo | 10-20 % incremento en costo | 20-40 % incremento en costo | >40 % incremento en costo |
| Tiempo | Incremento insignificante del tiempo | <5 % incremento en tiempo | 5-10% incremento en tiempo | 10-20 % incremento en tiempo | >20 % incremento en tiempo |
| Alcance | Disminución de alcance poco perceptible | Áreas menores del alcance afectadas | Áreas mayores del alcance afectadas | Reducción del alcance inaceptable para el cliente | El producto final del proyecto es efectivamente inútil |
| Calidad | Degradación de calidad poco perceptible | solo las aplicaciones muy exigentes son afectadas | La reducción de calidad requiere aprobación del cliente | Reducción de calidad inaceptable para el cliente | El producto final del proyecto es efectivamente inútil |

Este cuadro presenta ejemplos de definiciones de impacto de riesgo para cuatro objetivos diferentes, las definiciones de impacto pueden desarrollar oportunidades en forma similar en proyectos de estructuras metálicas.

Fuente: Project Management Institute, Inc. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos* (Guía del PMBOK®). p. 239.

5.8.1. Identificar los riesgos

Este proceso es bastante iterativo, debido a que se pueden ir descubriendo nuevos riesgos, o pueden evolucionar conforme el proyecto avanza a lo largo de su ciclo de vida.

La parte crítica para identificar los riesgos es el EDT del equipo del proyecto, ya que facilita la comprensión de los riesgos potenciales tanto a nivel micro como macro. Los riesgos pueden rastrearse a nivel de resumen o paquete de trabajo.

Los riesgos más comunes a identificar, según lo muestra cada área del EDT para estructuras metálicas de acero, son los siguientes:

Tabla IX. **Riesgos identificados de impacto para proyectos en estructuras metálicas**

| Área | Riesgos |
|--------------------|---|
| Diseño estructural | Información errada hacia el departamento o desde el departamento hacia otras áreas. |
| | Falta de información (tipo de cerramientos, cargas, arquitecturas definidas, requerimientos de espacios libres y aberturas, entre otros). |
| Presupuesto | Errores en presupuesto. |
| | Mal interpretación de dibujo en planos /presupuesto. |
| Compras | Cambio de precio en materiales o fluctuación del material en el mercado. |
| | Cambio de calidad del material. |
| Dibujo | Mal interpretación de planos. |
| Fabricación | Errores de fabricación. |
| Herrería | Errores de fabricación. |
| Grúas y maquinaria | Mal uso de grúas y maquinaria. |
| Montaje | Mal procedimiento de montaje (plomeado, no enmarcar, no niveles). |

Fuente: elaboración propia.

5.8.2. Realizar análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos

A continuación se explica la importancia del análisis de riesgos, tanto cualitativa como cuantitativa.

5.8.2.1. Análisis cualitativo de riesgos

Realizar un análisis cualitativo de riesgos es, por lo general, un medio rápido y económico de establecer prioridades para planificar las respuestas a los riesgos y fomenta las bases para realizar el análisis cuantitativo.

La tabla IX representa un análisis cualitativo de los riesgos, es muy importante analizar cada uno de ellos de las siguientes formas:

- Evaluar lo importante y lo que se puede cobrar en porcentaje, si el riesgo tiene un una probabilidad de impacto significativo.
- El alcance varía si el costo y tiempo cambia, porque puede crecer o disminuir a medida de cómo se modifique la línea base.

Tabla X. **Riesgos identificados de impacto cualitativo para cuatro objetivos de proyectos en estructuras metálicas**

| Área | Riesgos | Escalas numéricas de probabilidad de riesgo | | | |
|--------------------|---|---|-------|--------|---------|
| | | Alcance | Costo | Tiempo | Calidad |
| Diseño estructural | Información errada hacia el departamento o desde el departamento hacia otras áreas. | ,80 | ,80 | ,40 | ,10 |
| | Falta de información (tipo de cerramientos, cargas, arquitecturas definidas, requerimientos de espacios libres y aberturas, entre otros). | ,80 | ,80 | ,40 | ,80 |

Continuación de la tabla X.

| | | | | | |
|--------------------|--|-----|-----|-----|-----|
| Presupuesto | Errores en presupuesto. | ,05 | ,80 | ,05 | ,10 |
| | Mal interpretación de dibujo en planos /presupuesto. | ,10 | ,80 | ,80 | ,80 |
| Compras | Cambio de precio en materiales o fluctuación del material en el mercado. | ,10 | ,80 | ,20 | ,80 |
| | Cambio de calidad del material. | ,20 | ,80 | ,40 | ,80 |
| Dibujo | Mal interpretación de planos. | ,10 | ,80 | ,80 | ,20 |
| Fabricación | Errores de fabricación. | ,10 | ,80 | ,80 | ,80 |
| Herrería | Errores de fabricación. | ,10 | ,80 | ,80 | ,80 |
| Grúas y maquinaria | Mal uso de grúas y maquinaria. | ,10 | ,80 | ,80 | ,10 |
| Montaje | Mal procedimiento de montaje (plomeado, no enmarcar, no niveles). | ,05 | ,80 | ,80 | ,80 |

Fuente: elaboración propia.

La matriz muestra muchos de los casos de riesgos que provocan un impacto y tienden a modificar la línea base entre el alcance, costo, tiempo y calidad de un proyecto de estructuras metálicas.

Al momento de realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de los riesgos se pueden descifrar cómo cada uno de estos riesgos impacta las líneas de acción del proyecto.

5.8.2.2. Análisis cuantitativo de riesgos

La disponibilidad de tiempo y presupuesto, así como la necesidad de declaraciones cualitativas o cuantitativas acerca de los riesgos y sus impactos, determinarán qué métodos emplear para analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados.

Por lo general, para realizar este análisis cuantitativo puede ser de mucha ayuda la información o estudios procedentes de proyectos de estructuras metálicas de acero similares, como se muestra en la siguiente información:

- El riesgo es alto si el material sube de precio, y se evalúa midiendo el tiempo que se tarda y ver cuánto costo tiene por la fluctuación del material. Así como, en proyectos a largo plazo se mide una fluctuación histórica de cuánto varía el precio del material, se recalcula y se mide la pérdida en dinero.
- Costo variación no interpretar bien la mano de obra suba en precio.
- La calidad requerida del cliente.
- El material elevado en costo.
 - Combustibles
 - Fletes
 - Importaciones
 - Costos extras no considerados

- No coordinación entre los involucrados y hayan atrasos en la línea base del tiempo.
- Atraso del área administrativa del proyecto.
- Atraso de los proveedores.
- Mala interpretación de planos para poder fabricar.
- Mal procedimiento de montaje.
 - Plomeado
 - Nivelación
 - Altimetría
 - Pedestales a contratuerca

Todos estos riesgos son medibles en costos y se pueden identificar por su nivel de impacto y probabilidad de ocurrencia, modificando las cuatro líneas base del proyecto que son: el alcance, tiempo, costo y calidad.

Tabla XI. **Riesgos identificados de impacto cuantitativo para cuatro objetivos de proyectos en estructuras metálicas**

| Área | Riesgos | Escala numérica de probabilidad de riesgo | | | |
|--------------------|---|---|------------------------------|-------|---------------|
| | | Prob. | Costo en % del valor de obra | Prob. | Tiempo (días) |
| Diseño estructural | Información errada hacia el departamento o desde el departamento hacia otras áreas. | 80% | 0% - 25% | 40% | 2 |
| | Falta de información (tipo de cerramientos, cargas, arquitecturas definidas, requerimientos de espacios libres y aberturas, entre otros). | 80% | 0% - 5% | 40% | 5 |
| Presupuesto | Errores en presupuesto. | 80% | 0%-40% | 5% | 3 |
| | Mal interpretación de dibujo en planos /presupuesto. | 80% | 0% -25% | 80% | 3 |
| Compras | Cambio de precio en materiales o fluctuación del material en el mercado. | 80% | Max 10% | 20% | 2 |
| | Cambio de calidad del material. | 80% | 0%-5% | 40% | 7 |
| Dibujo | Mal interpretación de planos. | 80% | 0%-25% | 80% | 8 |
| Fabricación | Errores de fabricación. | 80% | 0%- 5% | 80% | 10 |
| Herrería | Errores de fabricación. | 80% | 0%-5% | 80% | 4 |
| Grúas y maquinaria | Mal uso de grúas y maquinaria. | 80% | 0%-80% | 80% | 10 |
| Montaje | Mal procedimiento de montaje (plomeado, no enmarcar, no niveles). | 80% | 0%-40% | 80% | 3 |

Fuente: elaboración propia.

5.8.3. Plan de respuesta

Las respuestas a los riesgos planificadas deben adaptarse a la importancia del riesgo, ser rentables con relación al desafío por cumplir, realistas dentro del contexto del proyecto, acordadas por todas las partes involucradas. Entonces, el objetivo es dar soluciones, minimizar los riesgos y dar respuesta al ¿qué pasa si?, otorgar alternativas de negociaciones, por ejemplo: en muchos proyectos de estructuras metálicas las soluciones se dan dependiendo de donde venga el cambio en alguna línea base del proyecto, que puede ser el cliente o la parte administrativa del proyecto. Es importante resaltar eso, porque dependiendo quién sea el que desee modificar la línea base del proyecto, se toman decisiones en cuanto a costo y tiempo.

Hay dos tipos de planes de respuestas que son los siguientes:

- **Correctivo:** suponiendo que se ejecutó un error de dejar sin mantenimiento una grúa y que por este descuido se averió. La alternativa alquilar una grúa que tenga las mismas características para que pueda desempeñar el trabajo aunque tenga un costo extra.
- **Preventivo:** tomando de ejemplo los errores en planos del listado de riesgos cualitativos, si el riesgo es muy alto y de una severa cantidad de dinero por errores. La alternativa es utilizar 3 días más en revisión de planos, para prevenir que se haga más grande el riesgo en costo.

5.9. Gestión de impacto ambiental

Usualmente, un proyecto de estructuras metálicas entra cuando el estudio de impacto ambiental ya se ha realizado previamente. En el caso de ser

subcontratado, solo se apega a los lineamientos que el estudio de impacto ambiental dio como resultado.

Pero existen casos de proyectos que inician desde cero con un contratista general, entonces en el proyecto se deberían ver los siguientes procesos.

5.9.1. Diagnóstico

Para iniciar desde las bases, se hará mención a los diferentes instrumentos jurídicos y sus respectivos artículos que están relacionados con la Constitución de la República de Guatemala, Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, Código de Salud, reglamento de aguas residuales, Código civil:

- Artículo 97. Protección del medio ambiente
- Artículo 119. Obligaciones del estado
- Artículo 121. Bienes del Estado.
- Artículo 127. Régimen de aguas.
- En el Código de Salud, Decreto 90-97 del Congreso de la República
- Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental Acuerdo Gubernativo número 431-2007
- El Reglamento de Las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 66-2005,
- Norma COGUANOR NGO 29001 para agua potable.

Para el diagnóstico en estructuras metálicas conlleva siempre una evaluación, con valoración de acciones en relación con objetivos del proyecto, que se hacen por etapas, como a continuación se muestra:

Etapa de construcción del proyecto:

- Análisis y selección del sitio
- Limpieza del terreno
- Excavación y movimiento de tierras
- Desarrollo de obra física
- Generación de puestos de trabajo
- Desalojo de material
- Instalaciones provisionales

Etapa de operación del proyecto:

- Abastecimiento de agua potable
- Tratamiento de aguas residuales
- Operación del sistema eléctrico
- Mantenimiento de instalaciones
- Manejo de desechos sólidos

Etapa de cierre del proyecto:

- Clausura o abandono
- Evaluación del impacto social

5.9.2. Pronóstico

Esta parte es muy importante para el conocimiento anticipado de la probabilidad que ocurran ciertos incidentes en obra, al haber dado el diagnóstico previo del impacto ambiental. Debe haber medidas de mitigación para lo siguiente:

- Ruido y vibración
- Emisiones a la atmósfera (partículas)
- Vertidos de efluentes líquidos
- Residuos sólidos no reciclables
- Residuos sólidos reciclables
- Explosiones e incendios
- Escapes y fugas

Es importante mencionar que la fabricación de la estructura metálica no se hace en obra, eso quiere decir que, relativamente en la planta de fabricación se debe utilizar productos o materiales de bajo impacto ambiental como: lubricantes orgánicos que sean solubles en agua y que la maquinaria cumpla con normas de reducción de emisiones.

5.9.3. Evaluación del impacto ambiental

En la tabla XII se muestra el resultado de la evaluación de impacto ambiental.

Tabla XII. **Matriz de identificación y valoración de impactos**

| SIMBOLOGIA | | | Etapa de Construcción | | | | | | | Etapa de Funcionamiento | | | | | | |
|----------------------|---|----|-----------------------|---|---|---|---|---|---|-------------------------|---|----|----|----|----|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | |
| T | Impacto temporal | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | Impacto adverso significativo | | | | | | | | | | | | | | | |
| a | Impacto adverso no significativo | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | Impacto beneficio significativo | | | | | | | | | | | | | | | |
| b | Impacto beneficio no significativo | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | Imp. Adv. Sign. con medida de mitigación | | | | | | | | | | | | | | | |
| m | Imp. Adv. No sign. con medida de mitigación | | | | | | | | | | | | | | | |
| Factores Ambientales | Agua | 1 | Subterráneas | a | | | m | | M | b | A | B | | | B | |
| | | 2 | Sismicidad | | | b | B | | | | | | | | | |
| | Suelo | 3 | Compat. y uso | B | | | B | | | | | | | | | A |
| | | 4 | Ruido y vibración | | | T | T | | | | | | | | | |
| | Atmósfera | 5 | Partículas | | m | T | T | | | | | | | | | |
| | | 6 | Transporte | b | | T | b | | T | | | | | | | |
| | Ecosistema | 7 | Habitantes | | T | T | B | | T | | | | | | B | a |
| | | 8 | Empleo | | T | T | B | B | b | | | | | | B | A |
| | Socioeconómicos | 9 | Infraestructura | B | | | B | | | | B | B | B | B | B | A |
| | | 10 | Imagen urbana | B | | | B | | | | | | | B | B | A |
| | Residuos | 11 | Sólidos | | m | M | M | | M | T | | M | | | B | |
| | | 12 | Líquidos | | | | | | | T | M | M | | | | |

Fuente: ACEROS NABLA, S. A. *Plantilla sobre el estudio de impacto ambiental para un proyecto de estructuras metálicas de acero por la empresa.*

5.10. Planificar las adquisiciones

Este proceso trata de tomar la cotización del proyecto y seleccionar los múltiples proveedores de material certificado según la calidad exigida para estructuras metálicas de acero, incluyendo la consideración de los riesgos derivados de cada decisión de que hacer o comprar.

También se deberá considerar quién es el responsable de obtener o ser titular de permisos y licencias profesionales relevantes que puedan ser exigidos por la legislación, alguna regulación o política del cliente para ejecutar el proyecto.

Para proyectos de estructuras metálicas la planificación de adquisiciones es abarcada con lo siguiente:

- Las condiciones del mercado
- Disponibilidad en el mercado del material
- Requisitos locales específicos
- Determinar fechas de compra
- Garantías de los proveedores del material

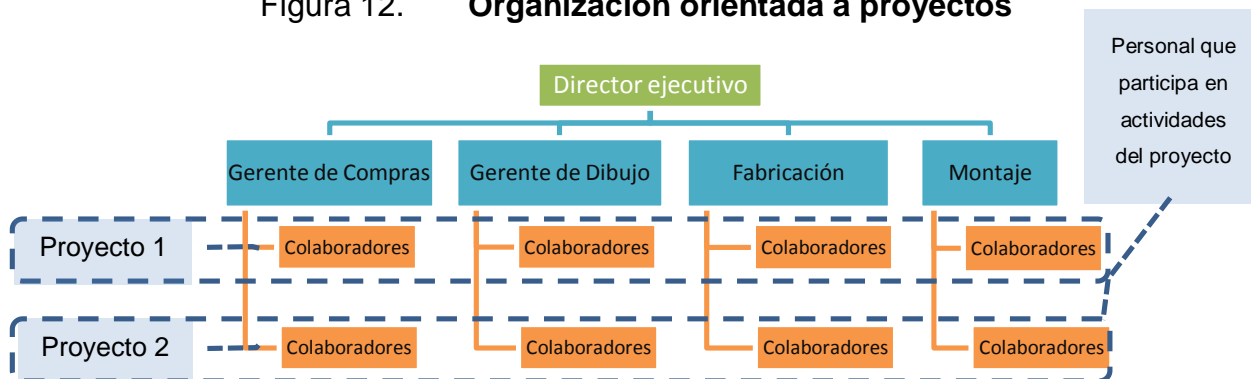
6. EJECUCIÓN

6.1. Dirigir y gestionar la ejecución del proyecto

Este proceso consiste en ejecutar el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto para cumplir con los objetivos del mismo. Aquí entran en función dos personas, el director ejecutivo de proyectos que trabaja junto al equipo de dirección del proyecto y el supervisor de montaje, él es el que debe realizar las actividades en campo, debe reunir, capacitar y dirigir a los miembros de su equipo de trabajo (planillas de personal contratado o a destajo), debe obtener, gestionar y utilizar los recursos incluyendo materiales, herramientas, maquinaria y equipo.

Los canales de comunicación son un aspecto importante, los cuales se deben utilizar constantemente, porque muchos riesgos vienen acompañados del mal uso de este parámetro entre el cliente o interesado, las áreas como dibujo, fabricación, presupuesto e incluso con la maquinaria para montaje.

Figura 12. Organización orientada a proyectos



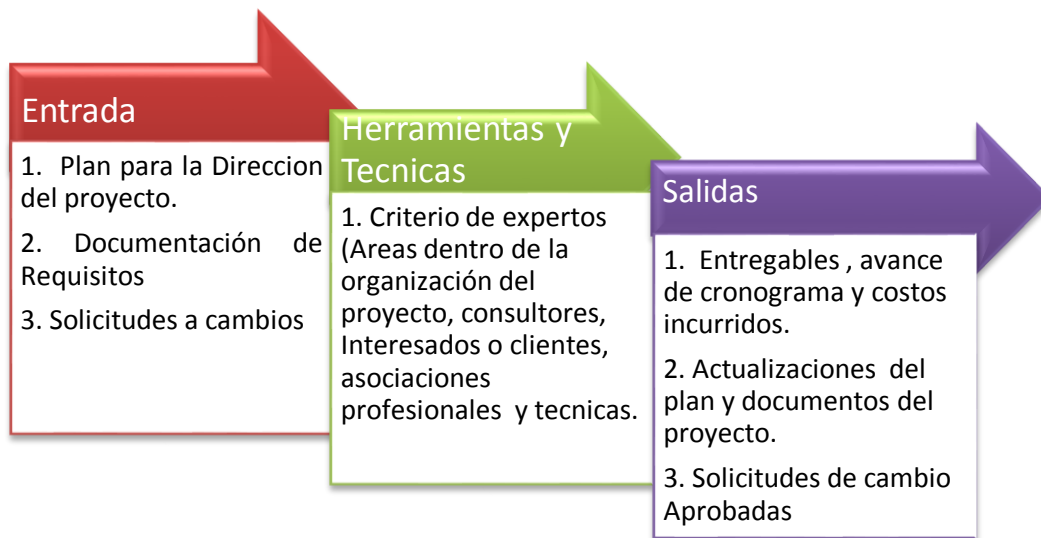
Fuente: elaboración propia.

La información necesaria para medir el tiempo de cada fase de montaje depende de la información siguiente:

- El diseñador estructural debe brindar la información exacta de los detalles de los marcos estructurales, columnas, vigas y m² de laminado, entre otros.
- Planos detallados con el área y topografía exacta del lugar donde se trabajará, con las plantas, elevaciones y modulación de la estructura en 3D necesarias para llevar a cabo el montaje.
- El plomeado para los pedestales de las columnas estén listos, entre otros.

Con base en lo anterior, el director de proyectos y el supervisor de montaje pueden estipular el tiempo de trabajo, las necesidades extras de operación y materiales en campo.

Figura 13. **Dirigir y gestionar: entrada, herramientas y técnicas, salidas**

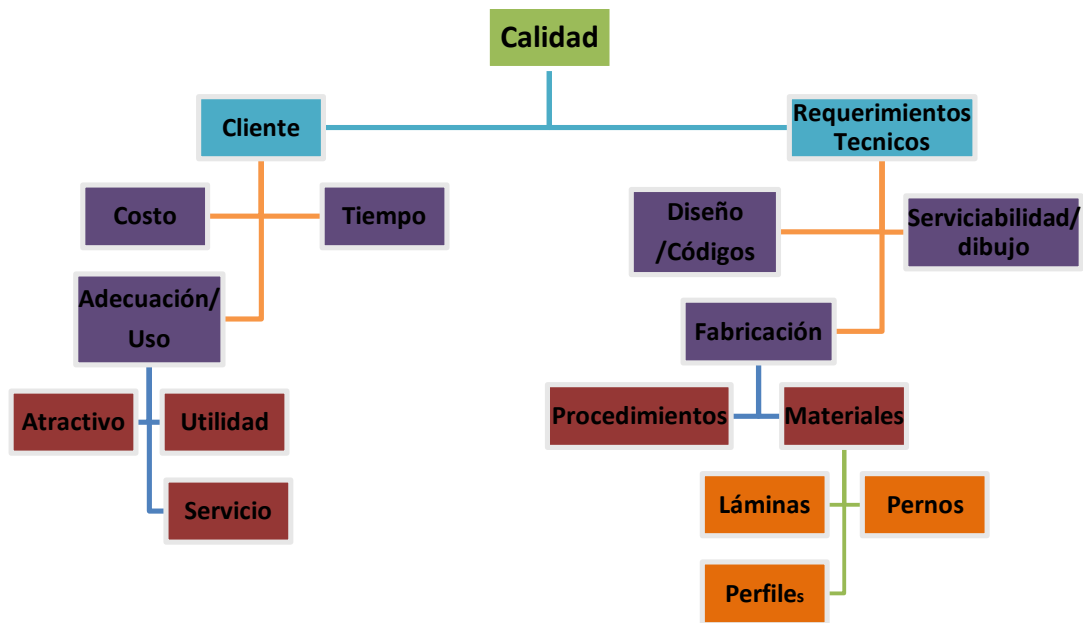


Fuente: elaboración propia.

6.2. Realizar el aseguramiento de calidad

Todos los requisitos de calidad entran en esta fase del proyecto para tomar medidas de control de calidad, con el fin de utilizar normas operacionales y normas de calidad adecuadas. Entonces, para los casos de proyectos de estructuras metálicas de acero se puede o debe asegurar la calidad de la forma o de acuerdo a lo que el cliente especifique. Así como, se indica al momento de planificar la calidad que para ello se necesita un sistema de aseguramiento de calidad que se muestra en la figura 14, que a continuación de muestra

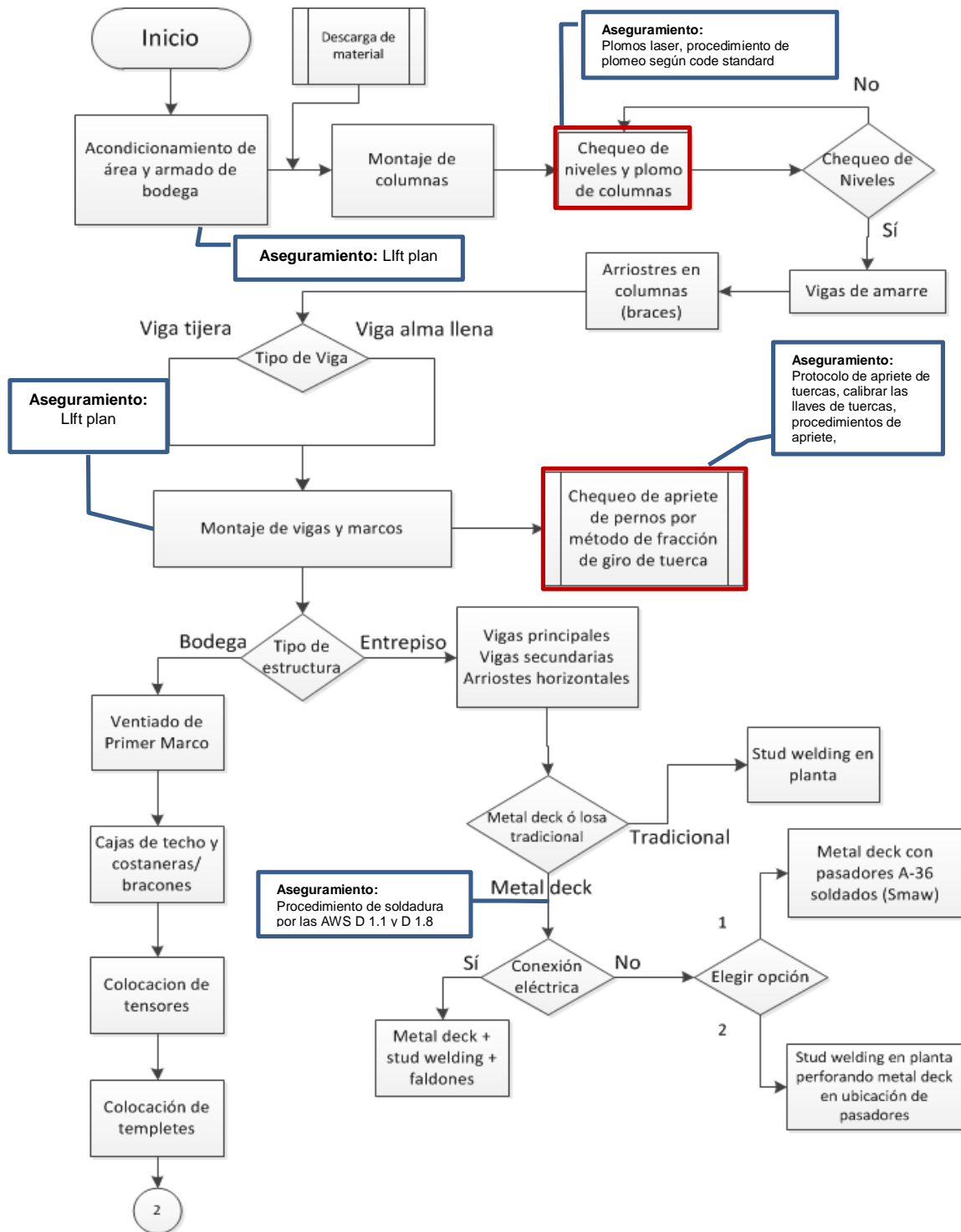
Figura 14. **Sistema de aseguramiento de calidad para proyectos de edificaciones de estructuras metálicas de acero**



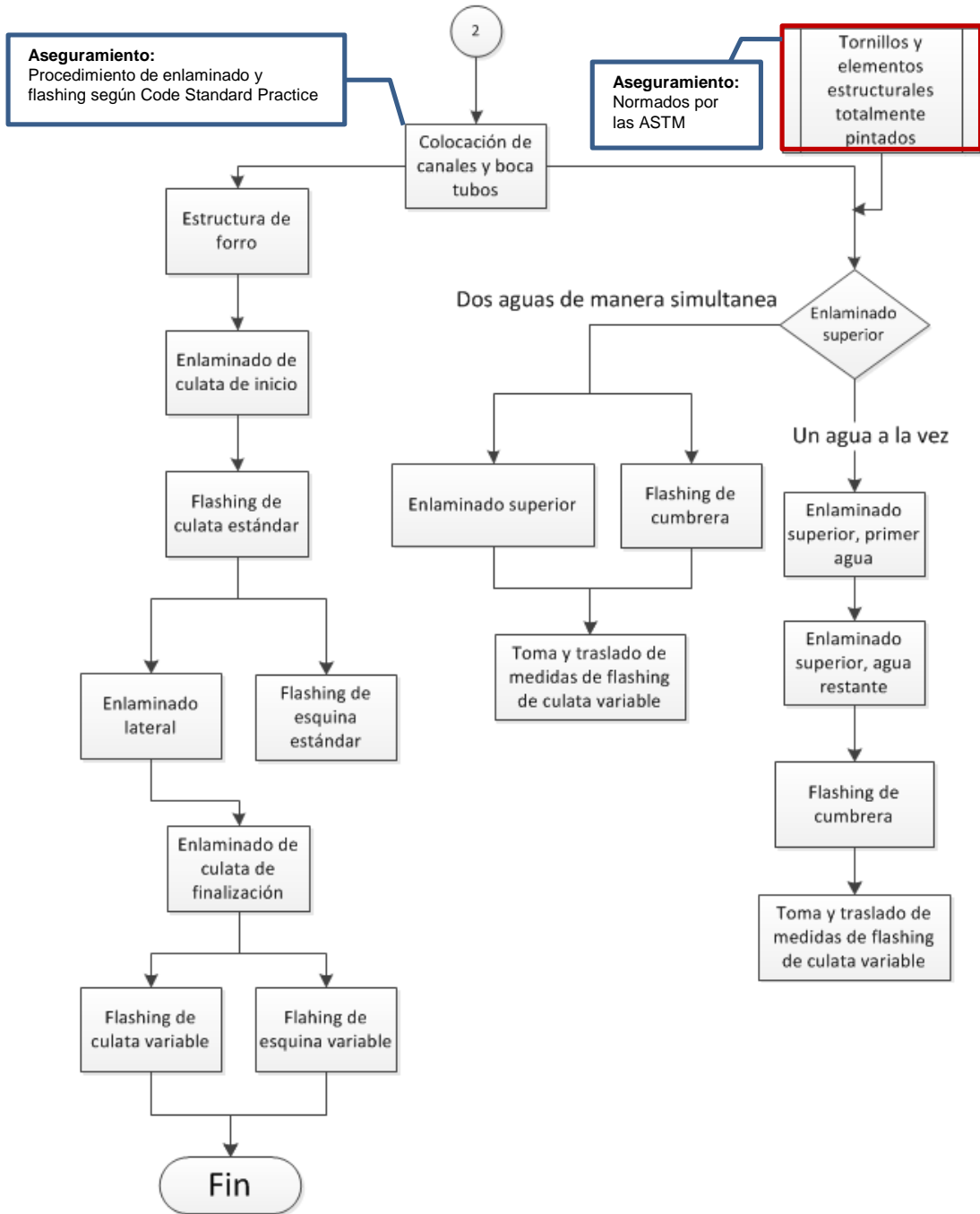
Fuente: elaboración propia.

La calidad de procedimientos de montaje se llevaría a cabo de la forma como se muestra en la figura 15.

Figura 15. **Proceso de montaje de estructuras metálicas de acero en campo**



Continuación de la figura 15.



Fuente: procedimientos de montaje empresa METAL, S. A.

6.3. Adquirir el equipo del proyecto

Este es el proceso para confirmar los recursos humanos disponibles y formar el equipo necesario para completar las asignaciones del proyecto. Básicamente el perfil del personal que se busca es importante para adquirir el equipo.

Se debe tomar en cuenta que pueden darse dos situaciones que son las siguientes:

- Si la empresa comienza de cero se debe hacer un plan de contratación de:
 - Recursos humanos
 - Entrevistas respectivas
 - Pruebas polígrafo
 - Asignar con base al perfil necesario
 - Rol
 - Autoridad
 - Responsabilidad
 - Competencia

- Cuando la organización ejecutante no cuenta con el personal interno necesario para completar un proyecto, los servicios requeridos pueden adquirirse de fuentes externas.

Esto puede implicar contratar consultores individuales o subcontratar trabajo a otra organización. Hay que tomar en cuenta cómo escoger la

empresa, de qué manera se evaluará los proveedores de montaje y las políticas necesarias para adquirir estos servicios, con lo siguiente:

- Buscar experiencia
- Por referencias
- Certificación del personal por las AWS con pruebas de soldadura
- Equipo suficiente de trabajo
- Con o sin contratos
- Estados financieros o bancos

6.3.1. Desarrollar el equipo del proyecto

El objetivo de desarrollar el equipo es mejorar el conocimiento y las habilidades de los miembros del equipo a fin de aumentar su capacidad de completar los entregables del proyecto, a la vez que se disminuyen los costos, se reducen los cronogramas y mejorar la calidad.

La capacitación es importante y en estructuras metálicas las actividades necesarias para mejorar las competencias del personal o equipo del proyecto pueden ser las siguientes:

Diseño estructural:

- Cursos estructurales
- Uso de software para modelado estructural
- Procesos de producción
- Procedimientos de montaje en campo

Compras:

- Importaciones
- Exportaciones

Dibujo:

- Personal capacitado para el uso de software:
 - Autocad
 - Advance Steel
 - Adobe
- Procedimientos de nomenclaturas y modulación:
 - Fabricación

Mantener capacitado al personal de soldadura con la certificación de procesos de soldadura por la AWS D-1.1 y D-1.8 que incluye lo siguiente:

En materiales:

- Electrodos
- Alambre
- Alambre hueco
- Amperaje
- Voltaje

En procesos:

- Arco sumergido

- Posiciones para soldadura
- Velocidad de avance

Calidad:

- Soldadura
 - Sin poros
 - Lineamientos
- Acabado superficial:

SSPC 1 (Steel Structures Painting Council)

- Aplicación de pintura:
 - Grosor de capaz
- Montaje

El personal de supervisión en campo debe estar capacitado con el uso de software básico como los siguientes:

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Microsoft Project

En procesos de montaje:

- Plomeado

- Atornillado
- Soldadura en campo:
 - *Studs*
- Enlaminado

6.3.2. Gestionar o dirigir el equipo del proyecto

Generalmente, este proceso es muy importante para la estabilidad de las atribuciones del equipo, porque se debe dar seguimiento al desempeño de sus miembros, proporcionar retroalimentación, resolver problemas y gestionar cambios a fin de optimizar el desempeño del proyecto

Esta gestión de desempeño se hace con base en mediciones. Actualmente, muchas empresas utilizan para medir estos resultados la herramienta llamada *balanced scorecard* o cuadro de mando integral. Es utilizada para orientar y evaluar el desempeño para crear valor futuro en empresas, a través de la inversión en clientes, proveedores, empleados, procesos, tecnología e innovación.

Figura 16. **Balanced scorecard para montaje en estructuras metálicas de acero**

| | Objetivos | MEDIDAS | METAS | INICIATIVAS |
|---------------------------|---|---|---|---|
| Cliente | 100% calidad | 100% de la calidad | Entregar el proyecto sin cambios por errores de montaje | Procedimientos de montaje con respectivos chequeos y aseguramientos |
| Financiero | Gestionar el 50% del presupuesto de montaje | Llevar 60% del presupuesto para una fecha estipulada | Terminar el proyecto con el resto del presupuesto 40% para no salir del presupuesto | Contratar gente local para disminuir viáticos en mano de obra |
| Procesos internos | Completar el cronograma de actividades | Jornada normal 8 horas | Horas trabajadas con el tiempo estipulado por día | Permisos de trabajo extras para terminar antes la meta del tiempo |
| Aprendizaje y crecimiento | - bitácoras - mano de obra local | - una bitácora por día - conocimiento de procesos de montaje | - informe laboral detallado - entrenamiento o capacitaciones | - anotación de cada suceso importante en obra - manual de procedimientos y funciones |

Fuente: elaboración propia.

6.4. Distribuir la información

Los informes de desempeño se utilizan para distribuir la información sobre el estado y desempeño del proyecto a los interesados. Deben estar disponibles antes de las reuniones del proyecto y deben ser lo más precisos y actuales posible.

Los canales de comunicación o formas de comunicación y distribución de la información pueden ser las siguientes:

Herramientas electrónicas de comunicación y conferencias, tales como:

- Correo electrónico
- Fax
- Correo de voz
- Teléfono
- Videoconferencias
- Conferencias por internet
- Sitios Web
- Publicaciones en Internet

Información transmitida por escrito o visual como:

- Informes
- Presentaciones
- Actas de reuniones
- Minutas
- Registros

Tener formatos adecuado para distribuir la información y estar seguro de que se está recibiendo, debe ser lo ideal si su empresa de construcción hace cualquier proyecto de construcción comercial. Se debe saber acerca de la necesidad de que el uso de ciertas transmisiones, que son comunicaciones que se envía a todas las partes involucradas en un proyecto de construcción, incluidos los propietarios, gerentes de proyectos, ingenieros, arquitectos, inspectores y agencias de gobierno entre otros.

Hay dos razones importantes para utilizar las transmisiones:

- Uno de ellas es como un medio de hacer el seguimiento de las comunicaciones enviadas y recibidas entre las partes involucradas en un proyecto de construcción, con el fin de asegurarse de que nada cae a través de las grietas en el proceso de una complicada comunicación.
- La otra es la de mantener un registro de todas las comunicaciones enviadas y recibidas. En el caso de ser necesario hacer referencia a ese registro por cualquier motivo, tales como: disputas o responsabilidad legal.

Hay tres tipos de formas para realizarlas:

- *Submittals*: son los documentos que deben acompañar a los productos que se envían, como materiales de muestra, planos (archivos de dibujo CAD), entre otros. Suelen requerir una respuesta del destinatario, por lo que es necesario realizar un seguimiento de cuándo se solicitó y si se ha recibido una respuesta.
- RFI (*Requests For Information* o solicitudes de información): son documentos que se envían con una pregunta específica, que exige una respuesta del destinatario. Por lo que es necesario realizar un seguimiento de cuándo se solicitó y si se ha recibido una respuesta.
- *Transmittals*: son comunicados con propósito de transmitir información. No requieren una respuesta, en pocas palabras, no es necesario realizar un seguimiento si se ha obtenido una respuesta de recibido.

En cotizaciones de materiales o servicios, se utiliza la solicitud de oferta SDO (también conocida como *Request for Quotation* o RFQ en inglés), que es una herramienta de negociación para la gestión de costos.

6.5. Efectuar las adquisiciones

En este proceso, el equipo del proyecto enviará solicitudes de información acerca de las adquisiciones para el proyecto, aplicará criterios de selección definidos previamente a fin de seleccionar uno o más vendedores que estén calificados y que sean aceptables como tales.

De acuerdo a la línea base del cronograma se van efectuando estas adquisiciones de material, de forma conveniente a la fluctuación del material que se solicitará.

Entre los términos de uso común para los diferentes tipos de documentos para efectuar la adquisición, se incluyen:

- Solicitud de información (RFI)
- Invitación a licitación (IFB)
- Solicitud de propuesta (RFP)
- Solicitud de presupuesto (RFQ)
- Aviso de oferta
- Invitación a la negociación
- Respuesta inicial del vendedor

La terminología específica a las adquisiciones puede variar según la industria y la ubicación de la adquisición.

7. MONITOREO Y CONTROL

7.1. Monitorear y controlar el trabajo del proyecto

Cada área de trabajo o equipo que están involucrados en el proyecto deben detallar actividades, logros, hitos, incidentes identificados y problemas. Esto es necesario para el momento de distribuir la información clave sobre: el estado actual, los logros significativos de la fase, las actividades del cronograma, las proyecciones, los asuntos pendientes, entre otros.

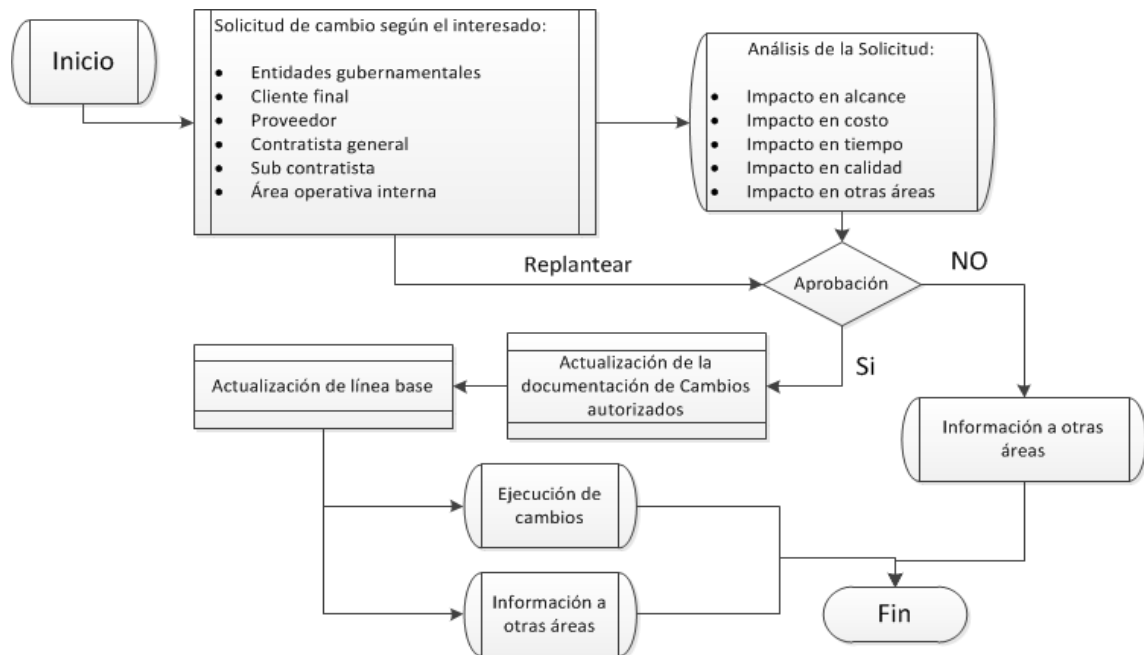
Para mantener el proceso de monitoreo necesitamos mantener las líneas base definidas que son: el alcance, tiempo, costo y calidad. Se deben estar haciendo mediciones que son parte de lo que se verá más adelante de este capítulo, con el control de alcance, cronograma, costos, calidad, rendimiento, riesgos y adquisiciones, que servirán para definir el estado del proyecto.

7.2. Realizar control integrado de cambios

Cuando se detectan problemas durante la ejecución del proyecto, se deben emitir solicitudes de cambios que pueden modificar el procedimiento, el alcance, el costo o presupuesto, el cronograma y la calidad del proyecto. Todo esto como consecuencia de la comparación entre los resultados planificados y los reales. Las solicitudes de cambio pueden incluir acciones preventivas, acciones correctivas y reparación de defectos, estipulando si son control de cambios internos o externos.

A continuación, en la figura 17 se muestra el Diagrama de Flujo para la aprobación de cambios en el proyecto independientemente de quien plantea la idea de cambio.

Figura 17. **Diagrama de Flujo para control integrado a cambios en el proyecto**



Fuente: elaboración propia.

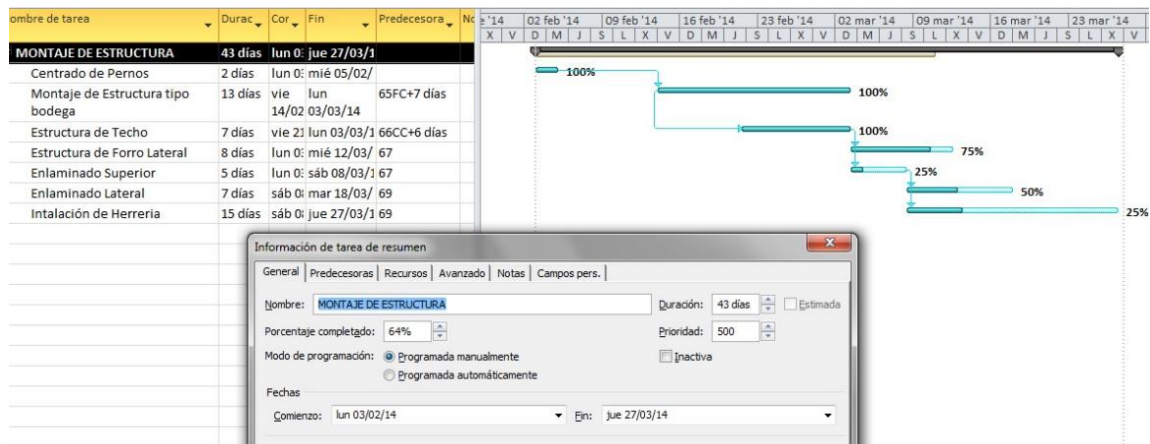
7.3. Verificar y controlar el alcance

Para proyectos de estructuras metálicas, los alcances son bien definidos, porque los contratos puede que sean para realizar infraestructuras o entrepisos de tres niveles en adelante. Si se utiliza un buen control de cambios no habría mucho problema en la ampliación del alcance, así que las personas que deben tener mucho cuidado en que no se les salga de las manos el alcance es el cliente y el contratista.

7.4. Controlar el cronograma

Conforme el proyecto avanza, la línea base del cronograma se va gestionando de manera que se determina el estado actual, los cambios reales cuando vayan sucediendo, se evalúa el desempeño y se requieren de acciones correctivas.

Figura 18. Control de cronograma del montaje de una estructura



Fuente: elaboración propia.

Según el informe de la gráfica, muestra que el montaje de la estructura lleva un 64 por ciento de tiempo cumplido, en días de trabajo lo que resta para la entrega del proyecto son 16 días para que la estructura esté completa.

La planificación del cronograma para que pueda ser controlada requiere de revisión constante, analizar las actividades, nivelar recursos, ajustar los adelantos y retrasos. Todo al mismo nivel, por ejemplo: muchas veces existen retrasos por parte de la fabricación de la estructura de un proyecto de estructuras metálicas, pero si esta actividad está dentro de la ruta crítica del proyecto el efecto en el cronograma de actividades será muy grande, entonces el retraso debe ser tratado con acción inmediata.

7.5. Controlar los costos

Una parte importante de cualquier proyecto es saber controlar los costos y gestionar los cambios que existen en la línea base del presupuesto, desde la actualización o incremento que se puede realizar con el control integrado a cambios.

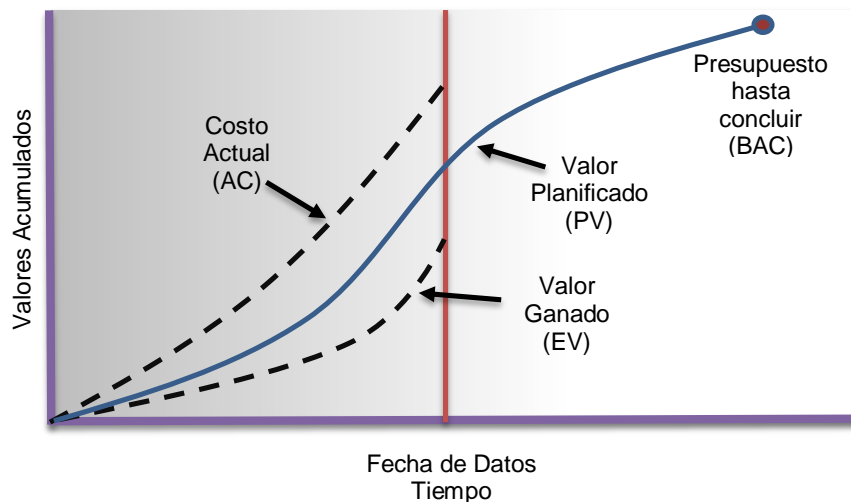
El control de costos de proyectos debe abarcar:

- Asegurarse de que todas las solicitudes a cambios se hagan de forma oportuna o a tiempo.
- Los gastos no excedan el financiamiento autorizado para el proyecto.
- Los cambios sean reales cuando y conforme suceden.
- Evitar incluir los cambios no aprobados en informes sobre costos o utilización de recursos.
- Informar a los interesados sobre los cambios aprobados.

- Estar claros de las condiciones reales que se tendrán durante el tiempo de ejecución para mantener los sobrecostos imprevistos dentro de un rango aceptable.

El PMBOK menciona una metodología para medir el valor ganado por medio de una gráfica que representa tres parámetros: valor planificado, valor ganado y costo real. Pueden monitorearse e informarse, por periodos semanales o mensuales y de forma acumulativa; el objetivo de la gráfica es representar el valor ganado para un proyecto cuyo costo excede el presupuesto y cuyo plan de trabajo está retrasado.

Figura 19. **Gráfica de valor ganado, valor planificado y costos reales**



Fuente: Project Management Institute, Inc. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos* (Guía del PMBOK®). p. 161.

La gráfica integra el alcance del proyecto, costo y cronograma para ayudar al equipo del proyecto a evaluar, medir el desempeño y avance del proyecto. La gestión del valor ganado se da la siguiente manera:

- Valor planificado (PV): es el presupuesto autorizado asignado al trabajo que debe ejecutarse para completar una actividad. El valor planificado total para el proyecto también se conoce como presupuesto hasta la conclusión (BAC).
- Valor ganado (EV) : es el valor del trabajo completado expresado en términos del presupuesto aprobado asignado a dicho trabajo para una actividad del cronograma y no puede ser mayor que el presupuesto aprobado del PV.
- Costo real (AC): es el costo total en el que se ha incurrido realmente y que se ha registrado durante la ejecución del trabajo realizado para una actividad. El AC debe corresponderse, por su definición, con lo que haya sido presupuestado para el PV y medido para el EV (por ejemplo: solo horas directas, solo costos directos o todos los costos, incluidos los costos indirectos)

También deben monitorearse las variaciones con respecto a la línea base aprobada:

- La variación del cronograma (SV) es una medida del desempeño del cronograma en un proyecto y será igual a cero cuando se complete el proyecto, porque ya se habrán ganado todos los valores planificados.

$$SV = EV - PV$$

- La variación del costo (CV) es una medida del desempeño del costo en un proyecto, al final del proyecto será la diferencia entre el presupuesto hasta la conclusión (BAC) y la cantidad realmente gastada.

$$CV = EV - AC$$

Los valores de SV y CV pueden convertirse en indicadores de eficiencia para reflejar el desempeño del costo y del cronograma de cualquier proyecto, con variaciones e índices para determinar el estado del proyecto:

- El índice de desempeño del cronograma (SPI) es una medida del avance logrado en un proyecto en comparación con el avance planificado.

$$SPI = EV/PV$$

- El índice del desempeño del costo (CPI) es una medida del valor del trabajo completado, en comparación con el costo o avance reales del proyecto.

$$CPI = EV/AC$$

7.6. Realizar el control de calidad

Este proceso se lleva a cabo durante todo el proyecto, con el fin de monitorear y registrar los resultados de las actividades de calidad, donde la mayor parte para estructuras metálicas de acero puede incluir modificaciones como reparaciones de defectos.

Entonces, para los proyectos de estructuras metálicas las pautas normalizadas para los procedimientos las dan las normas antes mencionadas en la parte del aseguramiento de calidad.

Pero lo más importante, para poder controlar la calidad periódicamente, es hacer las pruebas que exige el aseguramiento de calidad:

- La mano de obra debe estar capacitada y someterla a mejoras continuas.
- Los resultados de las radiografías y ultrasonidos nos dará un resultado que para el control de cambios debe ser correctivo, esto implicará costo extra en el presupuesto por dichos estudios.
- Las órdenes de producción se deben de someter a una revisión para poder proceder a fabricar.
- Verificar los certificados de calidad de material basados en las pruebas de las Normas ASTM, en pruebas destructivas y no destructivas.
- Los procesos de montaje se deben seguir en el orden necesario para no perjudicar la base del cronograma, presupuesto y calidad del proyecto.
- Chequeos de montaje como: plomeo de columnas, plomeo de marcos, control de aprietes, espesor de pintura, enlaminado sin agujeros, entre otros.

Los procesos de montaje junto a sus chequeos que se muestran en los recuadros resaltados en color rojo de la figura 15, son ejemplo de llevar un control y monitoreo en campo.

7.7. Informar el desempeño

Se debe llevar del desempeño con las siguientes partes del monitoreo y control del proyecto:

- Trabajo del proyecto
- Control Integrado de cambios
- El alcance

- Cronograma
- Costos
- Control de calidad

El objetivo de informar acerca del desempeño sirve en la toma de decisiones acerca del trabajo de la persona designada al proyecto, por ejemplo: el director del proyecto revisa todos los controles anteriores y detecta que el supervisor de obra su desempeño ha sido bajo respecto al tiempo, la solución sería trabajar horas extras para terminar a tiempo, lo cual se deberá controlar los costos en esa misma decisión.

7.8. Monitorear y controlar riesgos

Se debe estar pendiente de los riesgos identificados en el planeamiento del proyecto, para el caso de proyectos de estructuras metálicas de acero puede implicar la selección de estrategias alternativas, la ejecución de un plan de contingencia o de reserva, en pocas palabras la implementación de ideas correctivas. Aunque cabe mencionar que existen riesgos positivos y negativos.

7.9. Administrar las adquisiciones

Para un proyecto de estructuras metálicas, se deben administrar las adquisiciones, o más bien el manejo o control de las especificaciones necesarias aplicadas a los proveedores con estos procesos:

- Llevar control de pedidos de órdenes de compra, procedimientos operativos.
- Comprar al precio que se cotizó.

- Que los proveedores entreguen los materiales con los certificados de calidad solicitados.
- Entrega de materiales a tiempo.
- Facturación del material adquirido.
- Sistemas de pago al proveedor.

8. CIERRE DEL PROYECTO

8.1. Cierre de fase del proyecto

Es un proceso de unir toda la papelería, tanto legal como administrativa que haga constar al cliente que como empresa están todos los términos del proyecto de acuerdo a lo que se estipuló en el contrato, y antes de que estos entregables sean aprobados deben pasar por control de calidad, pueden ser los siguientes:

- Si se hicieron cambios dejarlos bien estipulados
- Los registros de riesgos
- Certificados de calidad
- Fianza de conservación de obra
- Entrega de planos AS BUILT
- Las últimas estimaciones
- Liquidación
- Notas de recepción

8.2. Cerrar adquisiciones

Va de la mano con el cierre de fase de proyecto, un claro ejemplo para cualquier proyecto de ingeniería civil es cuando hay material excedente, entonces para cerrar esa adquisición de material del proyecto se debe cargar a bodega o devolver al cliente solicitando una nota de crédito.

CONCLUSIONES

1. La planificación no se da de forma científica, se da más con base en juicio de expertos, debido a los conocimientos empíricos que han llevado a flote proyectos donde el alcance es modificado constantemente, lo que significa que, para proyectos de estructuras metálicas de acero puede afectar la línea base del tiempo y costo planificada.
2. El historial empírico para dirigir proyectos de edificaciones de estructuras metálicas de acero, viene a repercutir en la parte de gestión de recursos humanos. Esto es importante, porque si bien la parte estructural se ha desarrollado en una buena forma durante los últimos años, la parte de soldadura y de montaje de las estructuras no tanto, lo que lleva a emplear mano de obra no calificada.
3. El seguimiento del cronograma de actividades debe confirmar el estado actual del proyecto. Es necesario identificar los factores que generan cambios en el alcance, qué parte del cronograma se modificará, y cómo gestionar los cambios reales.
4. Para el aseguramiento de calidad en estructuras metálicas es muy importante documentar y archivar todas las certificaciones de materiales, procesos de soldadura, mano de obra y montaje, como un paquete que es el entregable que el cliente exige en el momento de cierre de fase de proyecto, para que todos los requisitos de cierre de adquisiciones puedan estar completos.

5. Las formas de comunicación al momento de ejecutar proyectos en obra gris y en estructuras metálicas de acero es ineficiente en Guatemala, a comparación con otros países que si no se entrega todo por escrito o por medio de transmisiones. Existe la probabilidad de caer en demandas legales por el mal manejo de información con los interesados.
6. Un buen control de los costos en obra se da, si la empresa que trabaja en estructuras metálicas de acero está bien organizada, con un buen manejo de contabilidad, reportes, informes, planillas de mano de obra, entre otros, de esta manera no se ve afectada en manejar los costos. La forma en que afecta es cuando hay extras y se pasa por alto el control sujeto a cambios, porque pueden haber perdidas en cantidades severas de dinero.
7. Como parte de la ejecución de un proyecto de infraestructura de estructuras metálicas de acero, el montaje la estructura debe seguir una serie pasos y procedimientos, que están en función de mantener la calidad requerida por el cliente, en el tiempo estipulado con el presupuesto de montaje controlado y un buen manejo de solicitudes de cambios en obra.
8. Desde la planificación del proyecto de estructuras metálicas de acero los riesgos deben ser identificados por muchas razones, una de ellas es que si no hay una acción preventiva o al menos correctiva, nuestra línea base en alcance, tiempo, costo y calidad, puede cambiar y de estas cuatro unas más que otras. El resultado final para el cliente puede ser no satisfactorio.

9. Inherentemente los proyectos de estructuras metálicas son construcciones verdes, por el simple hecho que son un material cien por ciento reciclado. Sin embargo, el estudio del impacto ambiental debe realizarse previo a la construcción, con todos los aspectos legales ambientales que tiene estipulados el Estado, para cuando sea momento de ser ejecutado el proyecto se pueda manejar y mitigar el impacto ambiental negativo.

RECOMENDACIONES

1. Para tener bien definido el alcance es necesario revisar que estén completos los planos, especificaciones, requisitos y demás documentos. Deben estar definidos claramente los elementos a construir y cumplir con lo especificado en los términos de las requisiciones del cliente y a lo contratado.
2. Al recibir de los interesados internos o externos solicitudes de cambios de alcance del proyecto y/o proponer los cambios que se consideren benéficos al proyecto, se recomienda revisar y evaluar dichas solicitudes de análisis de causas y efectos del cambio solicitado. Así como, emitir un transmisión sobre la procedencia de la solicitud de cambio para autorizar o rechazar cambios del alcance.
3. En el momento que se inicia la planificación de recursos, no solo se deben tomar en cuenta los materiales, mano de obra o maquinaria, también es recomendable hacer un estudio previo sobre accesos a la obra, espacios requeridos para ingreso de maquinaria, infraestructura, agua, electricidad, iluminación entre otros, para no caer en contratiempos y se retrase la línea base de tiempo en el cronograma de actividades.
4. Tener actualizados los estudios de tiempos en los procesos de dibujo, fabricación, y montaje de estructuras metálicas de acero, debido a que un historial de estos tiempos no pueden ayudar a determinar de forma

más acertada la entrega a tiempo de la estructura, incluyendo la holgura por imprevistos y riesgos correctivos.

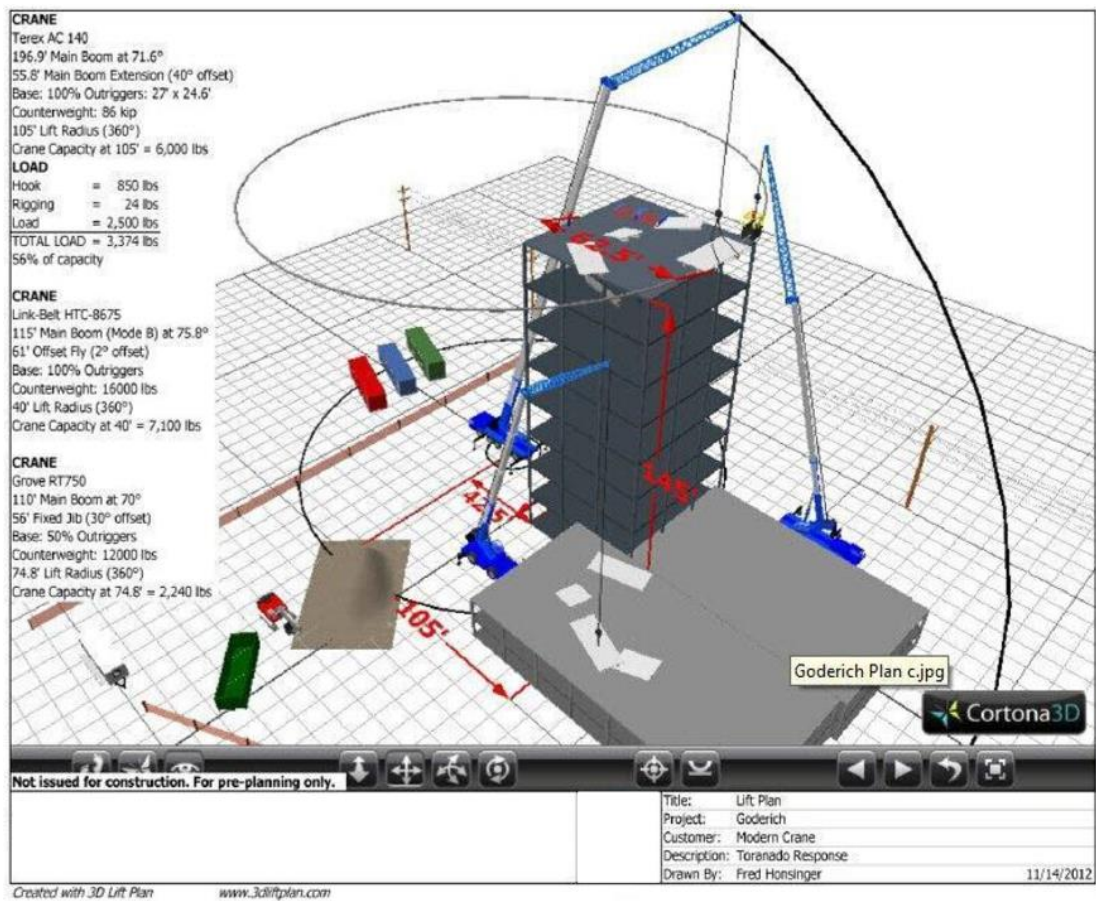
5. Revisar y evaluar el presupuesto autorizado del supervisor de campo asignado, verificando la congruencia del catálogo de materiales consumibles en obra, las cantidades de obra por ejecutar y los alcances del proyecto y emitir informe de revisión.
6. En caso de existir varios contratos, integrar los presupuestos autorizados de los diferentes supervisores de campo. Estos para establecer el plan de costo del proyecto e integrar los presupuestos de ejecución de las distintas etapas: diseño, licencias y permisos, iniciación y ejecución de construcción. Así implementar el plan de línea base costo del proyecto y de flujo financiero, las cuales deben permanecer fijas a menos que se autorice su modificación a través del control integrado a cambios.
7. Realizar registros de pruebas de control de calidad de fabricación y certificaciones correspondientes a proveedores de materiales (normados por las ASTM), equipo, verificaciones e inspecciones de calidad de mano de obra, procesos de fabricación de estructuras metálicas (por la AWS D-1.1 y D-1.8), entre otros. Documentarlas en los formatos de verificación y determinar si se han cumplido los requisitos de aceptación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASM HANDBOOK. *Properties and selection, irons and steels*. Estados Unidos, American Society of Metals, 1978. 793 p.
2. AWS WELDING. *Handbook*. 9a ed. Estados Unidos American Welding Society, 1978. 669 p. Vol. 1.
3. GRAVILLE. Welding of HSLA structural steels, proceeding of international conference. Estados Unidos, American Society for Metals, 1976. 265 p.
4. MCCORMAC, Jack C. *Diseño de estructuras de acero: Método LRFD*. 2a ed. México: Alfa y Omega Editor, S. A. 2002. 704 p. ISBN: 0-06-50167-01.
5. NEWMAN, Alexander. *Metal Building Systems*. United States of America: McGraw-Hill, 1997. 390 p. ISBN: 0-07-046379-4.
6. *Project Management Institute, Inc. Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®)*, 4a ed. Estados Unidos de América, 2008. 392 p. ISBN: 978-1-933890-72-2.
7. Tamboli, Akbar R. *Steel Design Handbook: LRFD Method*. United States of America: McGraw-Hill, 1997. 790 p. ISBN: 0-07-061400-8.

ANEXOS

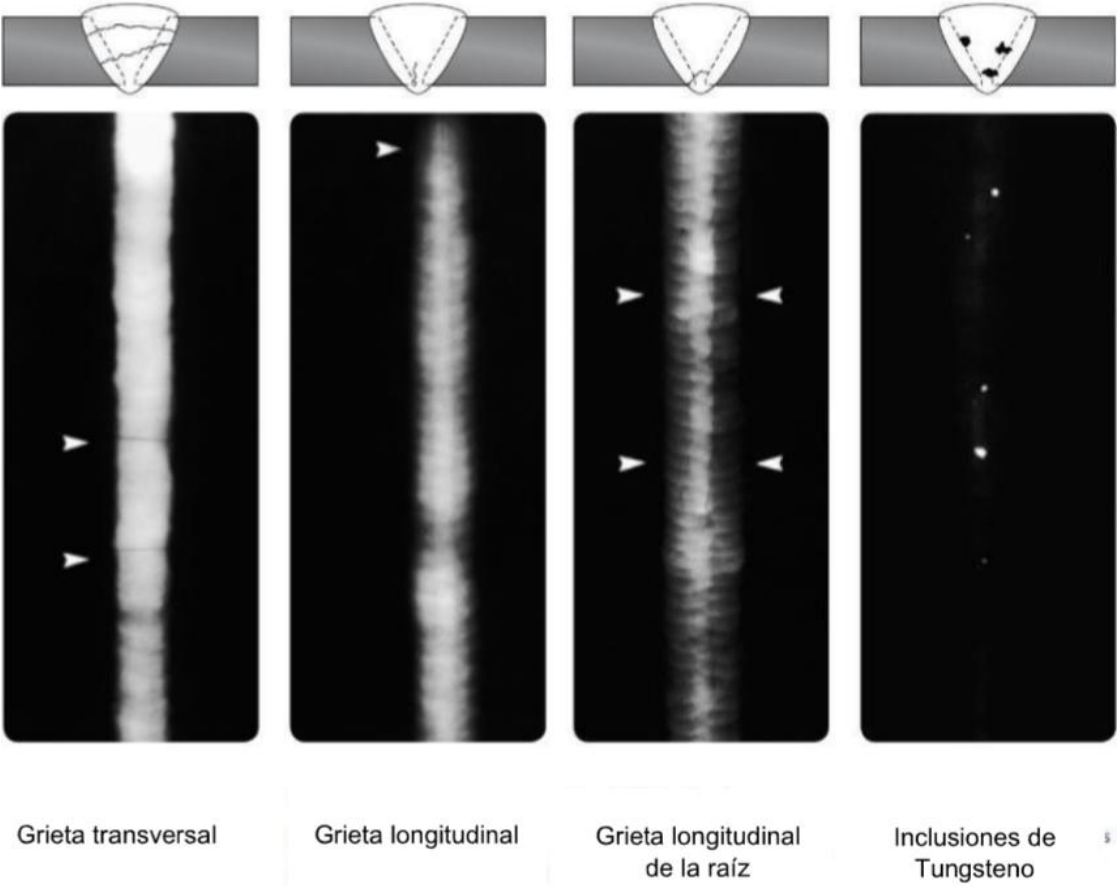
Anexo 1. Ejemplo en 3D de un lift plan para descarga y montaje de estructura en campo



Fuente: <http://www.3dliftplan.com/LPOTY/HosingerFred.aspx>.

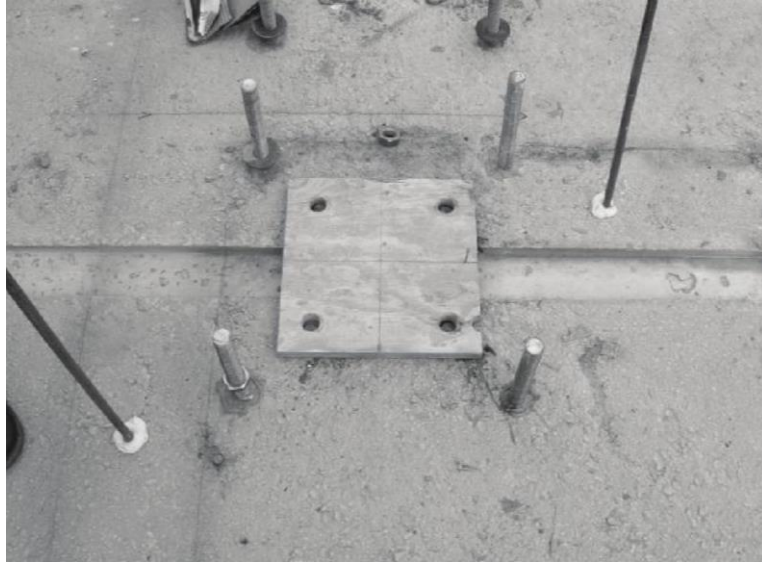
Consulta: 12 de noviembre de 2014.

Anexo 2. **Ejemplo de radiografías para identificar fallas en cordones de soldadura en acero**



Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 3. **Procedimiento erróneo en campo colocación de pernos de anclaje en posición incorrecta**



Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 4. **Procedimiento erróneo en campo interferencia en perfil de viga**



Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 5. **Procedimiento erróneo en fabricación agujeros no encajas con los pernos en conexiones**



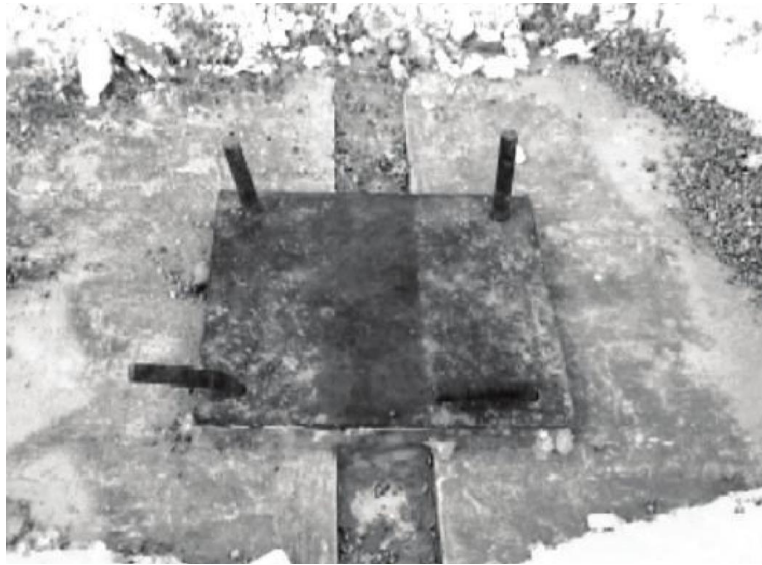
Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 6. **Procedimiento erróneo en campo pernos de anclaje demasiado juntos**



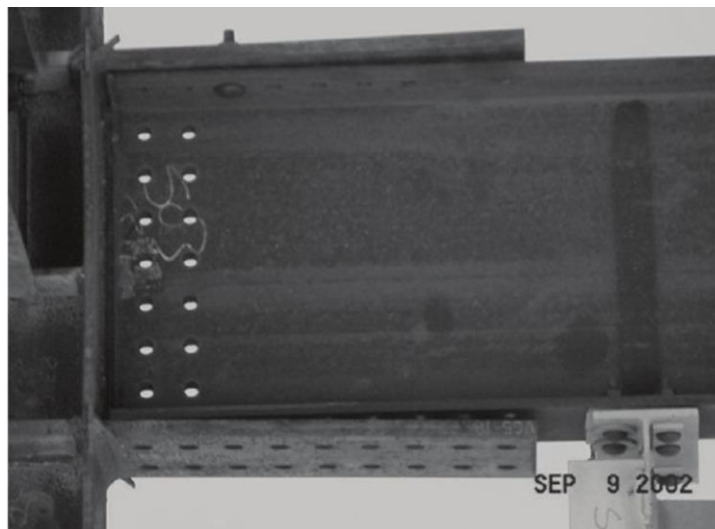
Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 7. Procedimiento erróneo en campo grúa pasa encima de pernos de anclaje



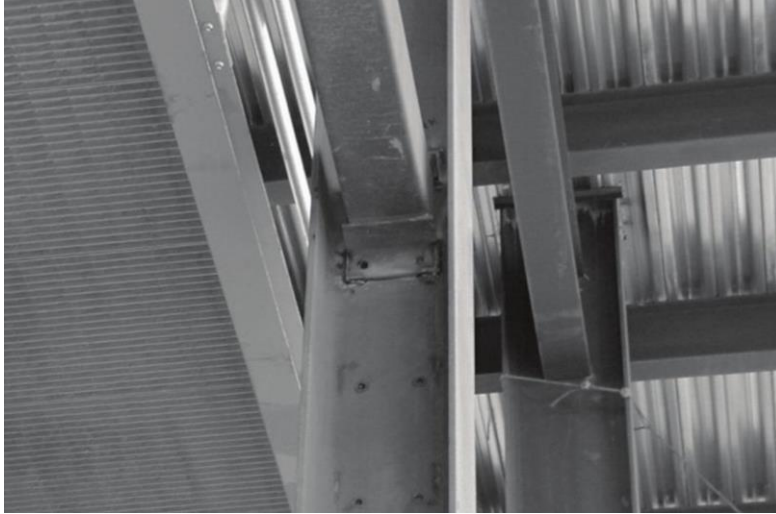
Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 8. Procedimiento erróneo en fabricación pletinas de conexión abiertas



Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 9. **Procedimiento erróneo en campo conexión soldada a columna donde debe ir anclada con pernos**



Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.

Anexo 10. **Procedimiento erróneo en diseño de cimentación para la estructura**



Fuente: Field fixes common problems in desing from AISC.